

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Факультет електроніки
Кафедра електронних приладів та пристроїв**

«На правах рукопису»
УДК 681.78

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри, проф., д.т.н.

_____ Л.Д.
Писаренко
“ ____ ” _____ 2018 р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
зі спеціальності 171 –Електроніка
Спеціалізація «Електронні прилади та пристрої»**

на тему: **«Високочутлива телевізійна камера для систем технічного зору»**

Виконав:

Студент 6 курсу, гр. ДЕ-71мп **Ганін Владислав Олексійович** _____

Науковий керівник:

Доцент, канд. техн. наук **Михайлов С.Р.** _____

Нормоконтроль:

Доцент, канд. техн. наук **Чадюк В.О.** _____

Рецензент:

Доцент кафедри звукотехніки
та реєстрації інформації
канд. техн. наук **Трапезон К.О.** _____

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2018
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Факультет (інститут) _____ Е л е к т р о н і к и

Кафедра _____ Електронні прилади та пристрої

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-науковою програмою

Спеціальність (спеціалізація) – **171– Електроніка (Електронні прилади та пристрої)**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, проф., д.т.н.

_____ Л.Д. Писаренко
« ____ » _____ 2018 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Ганіну Владиславу Олексійовичу

1. Тема дисертації – **«Високочутлива телевізійна камера для систем технічного зору»**

і науковий керівник дисертації Михайлов Сергій Ростиславович, доцент, к.т.н.

затверджені наказом по університету від «07» листопада 2018 р. № 4114-С

2. Термін подання студентом дисертації: « ____ » _____ 2018 р.

3. Об'єкт дослідження: Високочутлива телевізійна камера

4. Предмет дослідження: На базі порівняльного огляду науково-технічної літератури щодо типів фотоприймачів та їх конструктивних особливостей розробити телевізійну камеру. Чутливість сенсору пристрою - 5,48 В/Люкс-сек.; Оптичний формат - 1/3"(6мм); Напруга живлення пристрою - 4,8 В

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: Огляд науково-технічної літератури по типам фотоприймачів та телевізійним камерам на їх основі; розробка функціональної та структурної схеми високочутливої телевізійної камери; розрахунки параметрів пристрою що забезпечують необхідне функціонування.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: Схема електрична принципова високочутливої телевізійної камери; Функціональна схема пристрою.

7. Перелік публікацій: 1. Ганін В.О. Рівнемір на базі датчика різниці тиску з використанням гідростатичного методу вимірювань / Повний збірник статей XII науково-практичної конференції "Перспективні напрямки сучасної електроніки". Київ, 2017. С. 145-148

8. Дата видачі завдання : 01.09.2018

Календарний план

| № з/п | Назва етапів виконання магістерської дисертації | Термін виконання етапів магістерської дисертації | Примітка |
|-------|--|--|----------|
| 1. | Огляд науково-технічної літератури по по типам фотоприймачів. | 03.09.2018 | |
| 2. | Огляд науково-технічної літератури по телевізійним камерам на основі КМОП. | 05.10.2018 | |
| 3. | Розробка функціональної та структурної схеми високочутливої телевізійної камери. | 21.10.2018 | |
| 4. | Розрахунок параметрів пристрою що забезпечують необхідне функціонування | 03.11.2018 | |
| 5. | Виконання стартап проекту за темою магістерської дисертації | 20.11.2018 | |
| 6. | Оформлення пояснювальної записки, креслення, плакатів. Підготовка доповіді | 06.12.2018 | |

Студент гр. ДЕ-71мп

В.О. Ганін

Науковий керівник дисертації

С.Р. Михайлов

РЕФЕРАТ

Високочутлива телевізійна камера для систем технічного зору / Магістерська дисертація зі спеціальності **171– Електроніка спеціалізації «Електронні прилади та пристрої»**. **Ганін Владислав Олексійович**. НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського». Факультет електроніки, кафедра електронних приладів та пристроїв. Група ДЕ-71мп М. – К.: НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», 2018. – 116 с., іл. 39 табл. 17.

Короткий зміст роботи: В магістерській атестаційній роботі представлено огляд науково-технічної літератури по типам фотоприймачів та телевізійним камерам на їх основі. В цей огляд входить класифікація, принцип дії, сфера застосування. Показано переваги та недоліки двох видів фотоприймачів, з них був обран найбільш сучасний та універсально-цінний що використовується у розробленій телевізійній камері.

Розроблена структурна, функціональна та електрична принципова схема, яка складається з мікроконтролера, КМОП-фотоприймача, стабілізатора напруги, джерела опорної напруги та вихідного інтерфейсу.

Представлено методику розрахунку КМОП-фотоприймача, згідно якої виконано розрахунки таких параметрів: падіння напруги на пікселі, квантової ефективності та вихідної напруги пікселя. Також виконано розрахунок формата об'єктива телевізійної камери.

У заключній частині було створено стартап проект, згідно теми магістерської дисертації та зроблено висновки по виконаній роботі.

Ключові слова: КМОП, фотоприймач, АЦП, мікроконтролер, ПЗЗ, телевізійна камера.

А Н О Т А Ц І Я

В магістерській дисертації представлено огляд науково-технічної літератури по фотоприймачах та телевізійних камерах на їх основі. Розглянуто сфери використання та перспективи розвитку таких пристроїв в промисловості.

Описано принцип дії високочутливої телевізійної камери. Розроблено схему сполучення мікроконтролера з КМОП-фотоприймачем, джерелом живлення. Розглянуто схемотехнічні особливості та параметри кожного елементу схеми пристрою ,що розробляється. Наведена класифікація фотоприймачів,а також переваги та недоліки кожного типу таких пристроїв. Показано, що при використанні КМОП-фотоприймача, телевізійна камера має високу точність вихідного сигналу та необхідну чутливість фотоприймача. Розроблено стартап проект.

S U M M A R Y

In the graduate work presents an overview of the scientific and technical literature of photodetectors and television cameras on their base Areas of use and prospects of development of such devices in industry are considered.

The principle of operation of a high-sensitivity television camera is described. A scheme combining a microcontroller with a CMOS photodetector, a power source has been developed. The schematic features and parameters of each element of the scheme of the developed device are being considered. The classification of photodetectors is given, as well as the advantages and disadvantages of each type of such devices. It is shown that when using a CMOS photodetector, the television camera has a high accuracy of the output signal and the required sensitivity of the photodetector. A startup project is being developed.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

ДО МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ ВИЩОЇ ОСВІТИ

студента кафедри електронних приладів та пристроїв факультету електроніки НТУУ

«КПІ ім. Ігоря Сікорського»

Ганіна Владислава Олексійовича

на тему: **«Високочутлива телевізійна камера для систем технічного зору»**

Київ – 2018

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| Перелік скорочень, умовних позначень, термінів..... | 9 |
| ВСТУП..... | 10 |
| 1. СУЧАСНІ СЕНСОРИ ЗОБРАЖЕННЯ ТА ТЕЛЕВІЗІЙНІ КАМЕРИ НА ЇХ ОСНОВІ | |
| 1.1. Сучасні сенсори зображення | 12 |
| 1.2. Відеосигнали у фотоприймачах..... | 15 |
| 1.3. Фотоприймачі на базі приладів із зарядовим зв'язком..... | 26 |
| 1.4. Технічні параметри фотоприймачів на базі приладів із зарядовим зв'язком..... | 38 |
| 1.5. Фотоприймачі на компліментарній основі метал-оксид-напівпровідник..... | 46 |
| 1.6. Параметри і характеристики фотоприймачів на компліментарній основі метал-оксид-напівпровідник..... | 52 |
| 1.7. Телевізійні камери на базі приладів із зарядовим зв'язком | 57 |
| 1.8. Телевізійні камери на на компліментарній основі метал-оксид-напівпровідник..... | 65 |
| Висновки до розділу 1 | |
| 2. РОЗРОБКА ТЕЛЕВІЗІЙНОЇ КАМЕРИ | |
| 2.1. Розробка структурної схеми..... | 68 |
| 2.2. Схема Фотоприймача..... | 70 |
| 2.3. Схема мікроконтролера..... | 82 |
| 2.4. Схема стабілізатора напруги та джерела живлення | 85 |
| Висновки до розділу 2 | |
| 3. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА | |
| 3.1. Розрахунок падіння напруги на пікселі у фотоприймачі..... | 89 |

| | | | | | | | | | |
|-----------|------|---------------|--------|------|---|--------------------|------|---------|--|
| | | | | | МРП.171.071.003 ПЗ | | | | |
| | | | | | | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | |
| Розроб. | | Ганін В.О | | | “Високочутлива телевізійна камера для систем технічного зору” | Літ. | Арк. | Аркушів | |
| Перевір. | | Михайлов С.Р. | | | | | 7 | 116 | |
| Реценз. | | Трапезон К.О. | | | | КПІ ім.Сікорського | | | |
| Н. Контр. | | Чадюк В.О, | | | | | | | |
| Затверд. | | Писаренко Л.Д | | | | | | | |

| | |
|--|----|
| 3.2. Розрахунок квантової ефективності фотоприймача..... | 92 |
| 3.3. Розрахунок вихідної напруги пікселя у фотоприймачі..... | 95 |
| 3.4. Розрахунок формату об'єктива телевізійної камери..... | 99 |

Висновки до розділу 3

4. СТАРТАП-ПРОЕКТ

Висновки до розділу 4

Висновки

Перелік посилань

Додаток А

Додаток Б

| | | | | | | | | | | | |
|-----------|------|---------------|--------|------|---|--------------------|--|------|---|---------|--|
| | | | | | МП.171.071.003 ПЗ | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | | | |
| Розроб. | | Ганін В.О | | | “Високочутлива телевізійна камера для систем технічного зору” | Літ. | | Арк. | | Аркушів | |
| Перевір. | | Михайлов С.Р. | | | | | | | 8 | 116 | |
| Реценз. | | Трапезон К.О. | | | | КПІ ім.Сікорського | | | | | |
| Н. Контр. | | Чадюк В.О. | | | | | | | | | |
| Затверд. | | Писаренко Л.Д | | | | | | | | | |

ВСТУП

Прогрес розробки телевізійних систем наразі є одним із найбільш важливих технічних напрямків 21 століття. Успішний розвиток промисловості телевізійних пристроїв наразі залежить від постійного розвитку та внесення новітніх технологій в усі составні елементи телевізійних систем від формувача відеосигнала до пристрою відображення інформації. Телевізійні системи виходять на якісно новий рівень, пов'язаний з впровадженням системи телебачення високої чіткості (ТВЧ), а також завдяки переходу на цифрові технології обробки і передачі відеосигналу. Крім того, виходячі за рамки традиційного використання телевізійної системи як системи передачі зображення на відстані, телевізійні методи отримали застосування в областях, не завжди пов'язаних безпосередньо з передачею зображення, таких як вимірювальні системи, системи безпеки, системи технологічного контролю і інші. Можливості телевізійної системи багато в чому визначаються її первинною ланкою, а саме, формувачем відеосигналу - фоточутливого пристрою, що перетворює вхідний оптичний сигнал в електричний відеосигнал.

Вдосконалення телевізійних систем багато в чому визначається прогресом в області створення нових більш досконалих формувачів відеосигналу. Наразі можна виділити три основні шляхи, покладені в основу роботи формувачів відеосигналу. Перший шлях пов'язаний з пристроями на основі механічної розгортки. Це був перший етап розвитку телевізійних систем. Зазвичай його пов'язують з винаходом диска Ніпкова в 1880 році. На його основі було створено перше покоління телевізійних систем. Цей напрямок, в основному, завершилося завдяки відкриттю принципу електронної розгортки. Однак, в деяких системах механічна розгортка збереглася. Механічну

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | МРП.171.071.003 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 10 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

розгортку використовують такі прилади як тепловізори далекого ІЧ-діапазону, пристрої реєстрації рентгенівських і гамма-променів.

Другий шлях розвитку телевізійних систем пов'язаний з відкриттям принципу електронної розгортки і створенням на його основі вакуумних формувачів телевізійного сигналу(телевізійних передавальних трубок) і пристроїв відображення телевізійної інформації (кінескопів). Бурхливий розвиток телевізійної техніки в середині і наприкінці 20 століття відбувся саме на основі таких пристроїв.

Нарешті третій шлях базується на основі твердотільних формувачів зображення, які працюють на основі внутрішнього фотоефекту в напівпровідниках, а також на організації електронної розгортки безпосередньо в тілі напівпровідника. Саме такі пристрої мають в даний час найбільше поширення завдяки таким перевагам, як висока технологічність, повторюваність, високі технічні параметри, споживчі переваги та низька ціна. На сьогоднішній день твердотільні фотоприймачі базуються на технологіях, що використовуються при виробництві інтегральних мікросхем, тому їх вдосконалення та розвиток має великий темп, який характерний для галузі інтегральної мікроелектроніки в цілому.

1. СУЧАСНІ СЕНСОРИ ЗОБРАЖЕННЯ

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | МРП.171.071.003 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 11 |

1.1 Сучасні сенсори зображення на основі перенесення заряду

Розвиток телевізійних систем розпочався в середині 20 ст. коли були створені експериментальні зразки твердотільних багатоелементних фотоприймачів з числом елементів 25x25 [1]. Пізніше були створені прилади форматом 300x300.

Прилади виконувалися за гібридною технологією. Комутація виконувалася за допомогою двох зовнішніх регістрів зсуву. Прилад працював без накопичення енергії.

Пізніше був запропонований принцип переносу заряду.

Ідея ПЗЗ виявилась настільки легкою, що за короткий час було запропоновано безліч варіантів технічної реалізації та застосування. У 1970 р. вперше був запропонований лінійний ПЗЗ, що представляє собою лінійний фотоприймач, а в 1972 р. - перший матричний фотоприймач для телевізійної системи з кількістю елементів 13000.

Для розробки повноцінної твердотільної телевізійної камери необхідний такий фотоприймач, який би формував електричний відеосигнал відповідно до стандарту телевізійних систем. Зокрема, кількість рядків в матриці мусить бути кратна числу рядків, що передбачені телевізійним стандартом. Крім того, мусить бути реалізований принцип розгортки. Подібні фотоприймачі, промисловість стала випускати в 1973 р. Кольорові твердотільні телевізійні камери, виконані за трьохматричної схемою, також з'явилися в 1973 р.

У той же порі з'явилася ідея про створення одноматричної телевізійної твердотільної камери з використання інтегральних

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | МРП.171.071.003 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 12 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

світлофільтрів. Однак, практичні реалізації таких камер з'явилися помітно пізніше.

У міру вдосконалення технології виготовлення ПЗЗ поступово вдалось довести роздільну здатність до вимог телевізійного стандарту. Для цього довелося збільшувати кількість елементів матриці до 750x576. Крім цього проводилися роботи по збільшенню чутливості матриць, зменшення шумів та неефективності перенесення відеоданих. Матриці з кадровим перенесенням були замінені на більш досконалі з рядково-кадровим перенесенням. Важливо зазначити, що вартість таких приладів помітно зменшилась.

Приблизно у кінці 90-х років, твердотільні камери поступово витіснили вакуумні з більшості областей телевізійної техніки. На даний час вакуумні телевізійні формувачі відеосигналу мають перевагу тільки при праці в умовах сильної радіації.

Альтернативою твердотільним матричним фотоприймачами стали прилади із зарядною інжекцією, які були запропоновані в 1973 р. [2]. Основою таких фотоприймачів є матриця з координатної адресацією, в кожному осередку якої є пара суміжних МОП-конденсаторів. Потім була запропонована схема паралельної інжекції. Основними перевагами таких приладів була можливість неруйнівного зчитування сигналів та довільний порядок зчитування. Основним недоліком був довгий час зчитування та низька чутливість фотоприймача.

Недолік технології ПЗЗ, пов'язаний зі складністю виготовлення цих мікросхем довгий час був сповільнюючим фактором їх розвитку. Перш за все це позначало в неможливості інтеграції в кристал ПЗЗ других функціональних блоків телевізійної камери або систем, які виготовляють, в основному, за технологією КМОН. Тому значним кроком стала розробка фоточутливого прилада, аналогічного за

структурою мікросхеми оперативної пам'яті, але ці осередки пам'яті були фоточутливими елементами, складовими багатoeлементних формувачів зображення. Ці прилади отримали Назву КМОН-фотоприймачі та мали довільну двокоординатну адресацію [3]. Завдяки розвиненій технології КМОН, ці фотоприймачі почали дуже швидко розвиватися. За кілька років вони практично позбулися свого головного недоліку - низької чутливості, яка була характерна для КМОН-фотоприймачів першого покоління. У 1993 р. було винайдена технологія активного пікселя, що призвело до подальшого зростання чутливості прилада.

Пізніше у промисловій технології КМОН в ці фотоприймачі стали інтегруватися і інші вузли телевізійної камери та системи. Спочатку це були вузли, що забезпечують синхронізацію, попередню аналогову обробку та формування відеосигналу. Таким чином, з'явилися однокристальні твердотільні телевізійні камери.

При переході до цифрових технологій в телебаченні, КМОН-фотоприймачі стали поступово інтегрувати блоки тракту цифрової обробки відеосигналу. Один з таких блоків був аналого-цифровий перетворювач. Потім в КМОН-фотоприймачах з'явилися блоки цифрової обробки відеосигналу, системного зображення, цифрові інтерфейси та спеціалізовані процесори. Такі високоінтегровані КМОН-фотоприймачі за звичай називають відеосистемами на кристалі.

Слід також зазначити, що еволюція всіх типів твердотільних фотоприймачів іде також по шляху підвищення роздільної здатності, шляхом збільшення кількості елементів, а також підвищення швидкості зчитування відеосигналу.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | МРП.171.071.003 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 15 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Таким чином, вдосконалення твердотільних матричних формувачів зображення відбувається відповідно до зростання технології виготовлення інтегральних мікросхем в цілому.

1.2 Відеосигнали у фотоприймачах

Стандарт ТВ-систем регламентує параметри та характеристики використовуваного телевізійного зображення і електричного сигналу, використовуваного для передачі від джерела телевізійного зображення до приймача.

Відеосигнал або сигнал яскравості - це електричний сигнал, що отримується з виходом телевізійного фотоперетворювача в процесі розгортки зображення і потім посилений в відеотракті [4].

Джерелом відеосигналу є формувач відеосигналу. В якості останнього можуть виступати телевізійні камери будь-якого типу, пристрої відеозапису (відеомагнітофоні, DVD-програвачі, комп'ютери з ТВ відеовиходами и ін.).

Приймачем відеосигналу є пристрої відображення відео інформації, зокрема телевізори та відеомонітори, що працюють на будь-якому принципі (ЕПТ, ЖК, плазмова панель), а також пристрої відеозапису (відеомагнітофоні, записуючі DVD-програвачі, відеореєстраторі систем відеоспостереження).

Миттєве значення освітленості на фоточутливої поверхні телевізійного фотоприймача перетворюється в миттєве значення напруги на виході цього фотоприймача. Таким чином, напруга в відеосигналі пропорційна яскравості в даній точці зображення. Ця частина відеосигналу носити назву - сигнал яскравості і використовується для передачі чорно-білого відеосигналу або ж сигналу яскравості в кольоровий відеосигнал [5]. Діапазон переданих

значень яскравості визначається рівнем чорного та рівнем білого сигналів в відеосигнал. Рівень чорного є мінімальним сигналом яскравості и відповідає рівню синхроімпульсові. Він же одночасно є и опорним сигналом. Рівень білого відповідає максимальному рівню переданої яскравості (рис. 1.2).

Крім сигналу яскравості в відеосигналі присутні службові компоненти, щоб забезпечити синхронізацію сигналу між джерелом і приймачем. Існують два типи сигналів синхронізації - рядкові та кадрові.

Крім сигналів синхронізації є гасильні імпульси кадрів та рядків. Вони мають ті ж періоди, що и синхронізуючі імпульси, але від останніх відрізняються тривалістю. Використовують ці сигнали для гасіння променю ЕПТ при зворотньому ході малої та кадрової розгортки.

Кадровий синхроімпульс (тривалості 160 мкс) має імпульси тривалістю 4,7 мкс, а перед ним і після нього передаються зрівнюючі імпульси тривалістю 2,35 мкс. Частота проходження прирівнюючого імпульсу та синхроімпульсу в два рази вище, ніж рядкова частота.

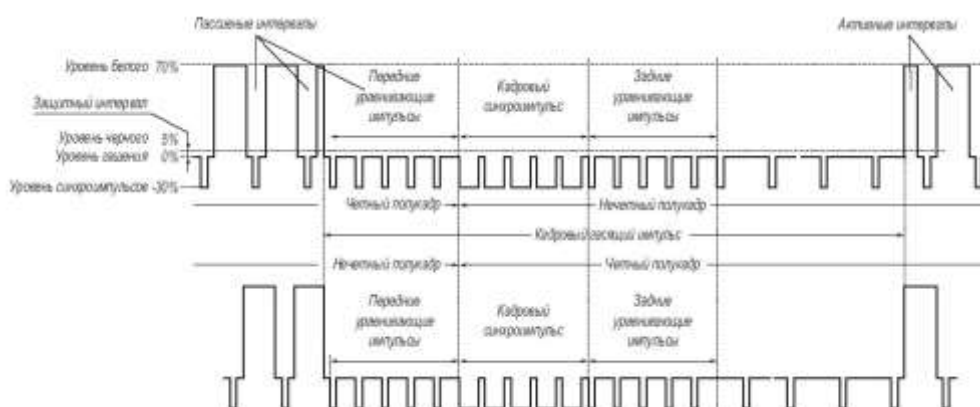


Рис 1.1 - детальна структура кадрового синхроімпульсу

У разі використання кольорового зображення у відеосигналі додатково включаються сигнали кольоровості та колірної

синхронізації. У цю годину використовують три стандарти кольорового відеосигналу - SECAM, PAL и NTSC.

У системі SECAM сигнали кольоровості формуються за допомогою частотної модуляції з порядковим чергування [5]. У відеосигналі присутні сигнал яскравості і тільки один із сигналів кольоровості, який накладається на сигнал яскравості методом частотного ущільнення. Для цього у сигналі яскравості за допомогою режекторного фільтра звільняється частина спектра (рис. 1.2).

Два сигнала кольоровості передаються по черзі через рядок. Так як для отримання повної інформації кольорів необхідний і другий кольоровий сигнал, то его отримують з попереднього рядка за допомогою лінії затримки на 64 мкс (тривалості одного рядка).

Частотно-модульовані сигнали кольоровості використовують різні частоти рядків. У рядках з номерами від 23 до 310 передається червона кольорорізність складових D_r . Для неї частота підносу ставити 4406,25 МГц. У рядках з номерами від 336 до 623 передається синя кольорорізність складових D_b з частотою 4250,0 МГц.

Для селекції червоних і синіх рядків використовують сигнали колірної синхронізації поля, які формуються в декількох рядках і являють собою немодульованій колірні сигнали.

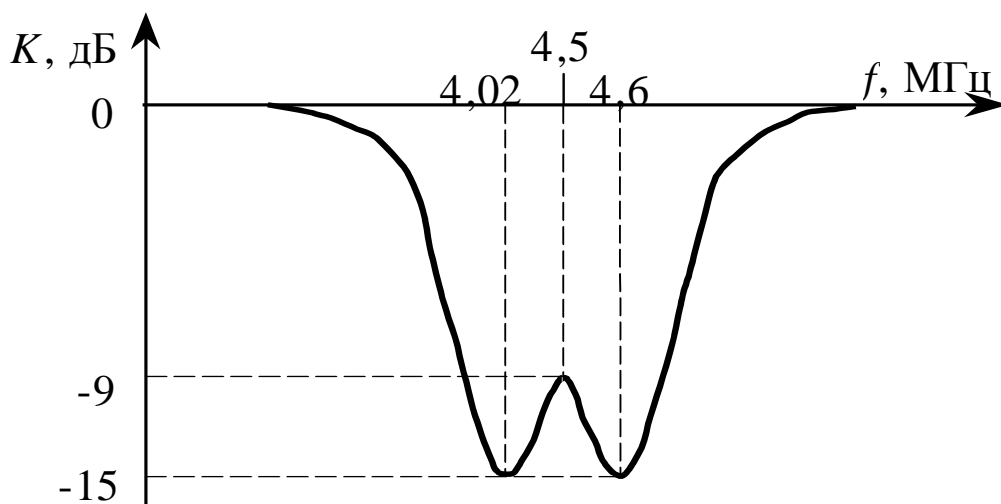


Рис 1.2 - Амплітудно-частотна характеристика режекторного фільтра системи SECAM.

У системах PAL и NTSC використовується квадратурна амплітудна модуляція .

Сигнал яскравості формується відповідно до формули

$$E_y * 0,299E_r * 0,587E_g * 0,114E_b.$$

Кольорорізностні сигнали:

$$E_u * 0,493 * (E_b * E_y);$$

$$E_v * 0,877 * (E_r * E_y).$$

Повний відеосигнал з урахуванням модуляції виражається наступной формулою:

$$E * E_y * E_u \sin (2\pi f_{цп}) * E_v \cos (2\pi f_{цп}), \text{ де } f_{цп} = 4433618,75.$$

Так як в основі цього методу лежить квадратурна модуляція, для нормальної роботи синхронного детектора потрібна наявність двох сигналів. В якості одного з сигналів використовується власне сам відеосигнал, а в якості опорного сигналу - вбудований генератор з частотою, рівній фцп. Синхронізація цього генератора проводиться раз на рядок з використання спеціального сигналу-спалаху. Останній також передається в відеосигналі та розташовується позаду синхроімпульсу та представляє собою кілька періодів фцп (рис. 1.3).

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | МРП.171.071.003 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 19 |

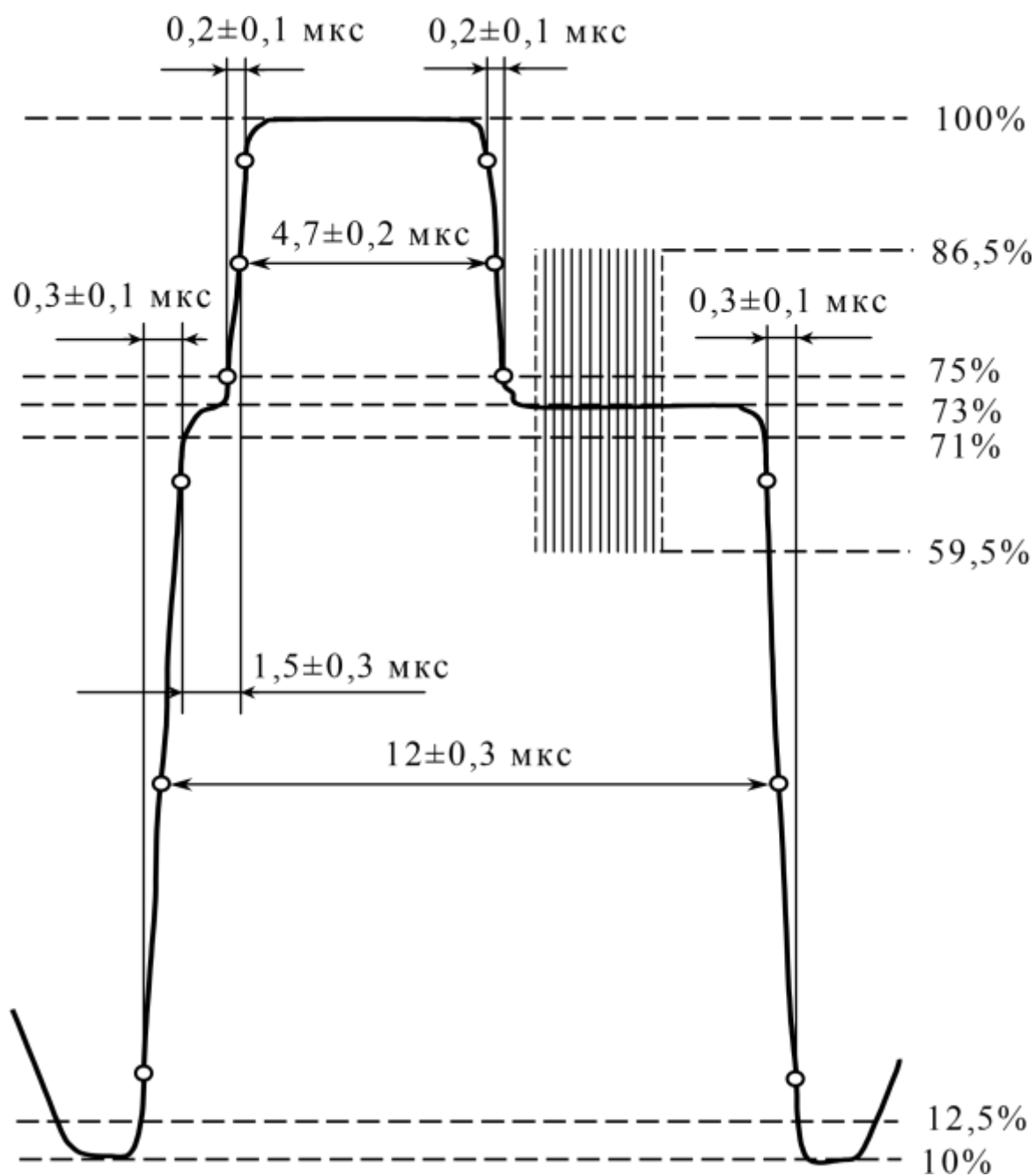


Рис 1.3 - Розташування сигналу-спалаху відносно розташування синхроімпульсу.

Основні параметри телевізійного зображення:

- стандарт кольоровості - SECAM;
- число полів в одному телевізійному кадрі - 2 (черезрядковий);

- номінальна частота полів - 50 Гц; • число рядків в одному кадрі - 625; • формат кадру - 4: 3.

Основні електричні параметри відеосигналу:

- Мінімальна частота спектра відеосигналу - 50 Гц

(Визначається частотою зміни полів);

- Максимальна частота спектра відеосигналу - 6,5 МГц (визначається найбільшою частотою зміни яскравості уздовж рядка);

- Повна напруга відеосигналу - 1 В;

- Напруга відеосигналу від рівня чорного до рівня білого - 0,7 В.

Фактично діють два стандарти - SECAM и PAL.

Аналоговий відеосигнал цих стандартів використовується для передачі телевізійного зображення стандартної якості з числом активних рядків 575 в черезстроковому режимі. Формувати такий сигнал можуть як вакуумні телевізійні трубки попереднього покоління, так і твердотільні телевізійні формувачі зображення.

Використання цифрового відеосигналу у ТВ-системах дозволяє максимально зберегти якість оброблюваного та переданого зображення.

Для збереження максимальної якості аналогового відеосигналу в процесі його обробки та/або передачі на великі відстані такий аналоговий відеосигнал перетворюють в цифрову форму.

При обробці та передачі відеосигналу в цифровому вигляді треба його перетворити в цифрову форму.

Спочатку цифровий відеосигнал використовувався для передачі телевізійного зображення стандартного дозволу. З таким дозволом працює і аналоговий відеосигнал. Тому цифровий відеосигнал розглядався як цифровий еквівалент стандартного аналогового відеосигналу. Фактично необхідно було мати можливість виробляти аналого-цифрове та цифро-аналогове перетворювання стандартного

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | МРП.171.071.003 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 20 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

відеосигналу таким чином, щоб при перетворенні не було втрат якості телевізійного зображення. З цією метою був розроблений стандарт цифрового відеосигналу стандартної роздільної здатності ITU-R BT.601 (ВІН же CCIR-601), а трохи пізніше вийшла його оновлена версія ITU-R BT.656 (ВІН же CCIR-656).

Основними параметрами цифрового сигналу є частота дискретизації та число рівнів квантування по амплітуді. Останній параметр тісно пов'язаний з розрядністю використовуваних АЦП и ЦАП.

Відповідно до вищезазначеного стандарту частота дискретизації розраховувалась як подвоєна максимальна частота в спектрі аналогового відеосигналу (6,5 МГц) з невеликим запасом. В результаті частота дискретизації вийшла рівною 13,5 МГц.

Для частоти 13,5 МГц загальне число цифрових відліків для одного рядка (64 мкс) вийшло 864 (рис. 1.4). З них 144 відліків відповідають положенням погашенню синхроімпульсу і не несуть інформації про яскравість. На активну участь рядка доводиться 720 відліків.

Тому стандартний формат кадру став 720x576 пікселів [6].

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | МРП.171.071.003 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 21 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

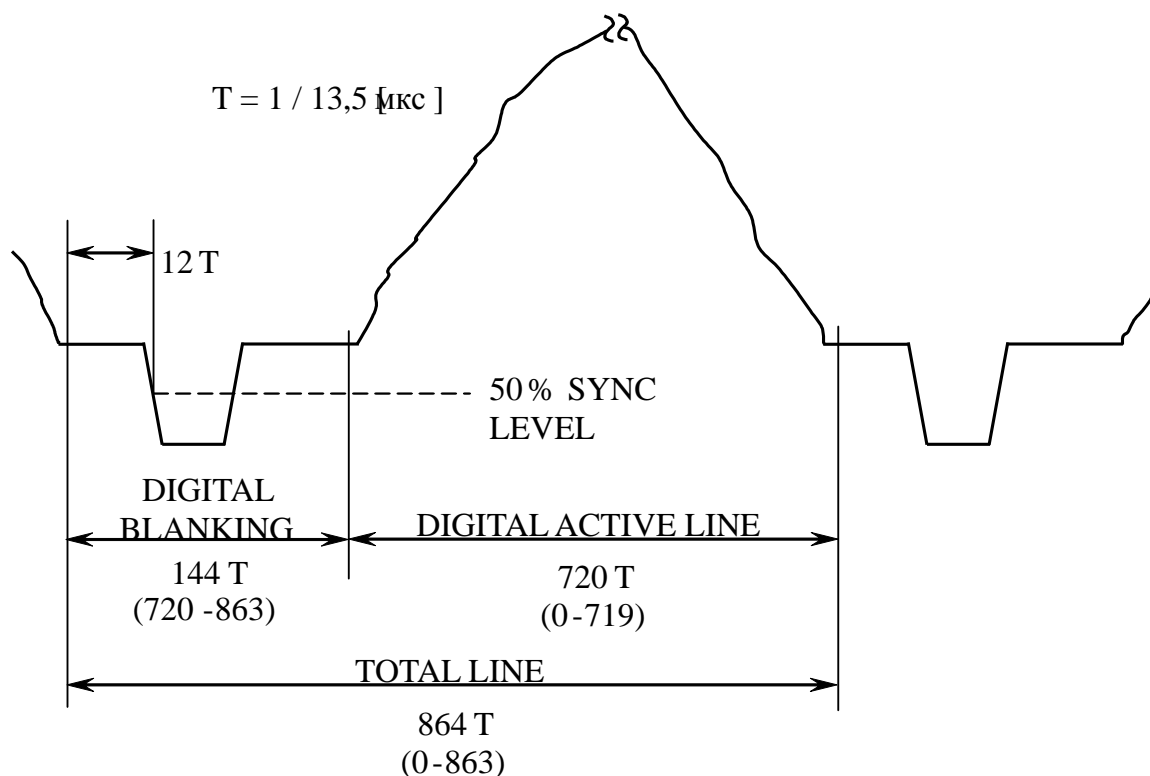


Рис 1.4 - Відеосигнал в цифровій формі:

DIGITAL ACTIVE LINE - активна частина рядка цифрового відеосигналу,

DIGITAL BLANKING - сигнал Гасіння цифрового відеосигналу,

TOTAL LINE - повна рядок цифрового відеосигналу,

SYNC LEVEL - рівень імпульсів синхронізації

Вибір числа рівнів квантування визначається наступним фактором. Необхідно, щоб при цифруванні і наступному відновленні аналогового відеосигналу не виникло спотворень в зображенні. Краще всього шуми видно в сценах де яскравість плавно змінюється.

Крім того, необхідно враховувати відношення сигнал/шум в відеосигналі. Для більшості приладів відношення сигнал/шум не перевищує 42-46 дБ. Тому для передачі оцифрованого відеосигналу в більшості випадків досить коло 200-250 рівнів квантування. Це число добре узгоджується з 8-розрядним АЦП и ЦАП. Крім того, 8 розрядів

необхідно для архітектури більшості системних шин, для розрядності процесорів та пам'яті. Це значення розрядності прийнято в даному стандарті як базове.

При реалізації стандарту використовувалося наступне подання сигналу яскравості і сигналів кольоровості (рис. 1.5) [6].

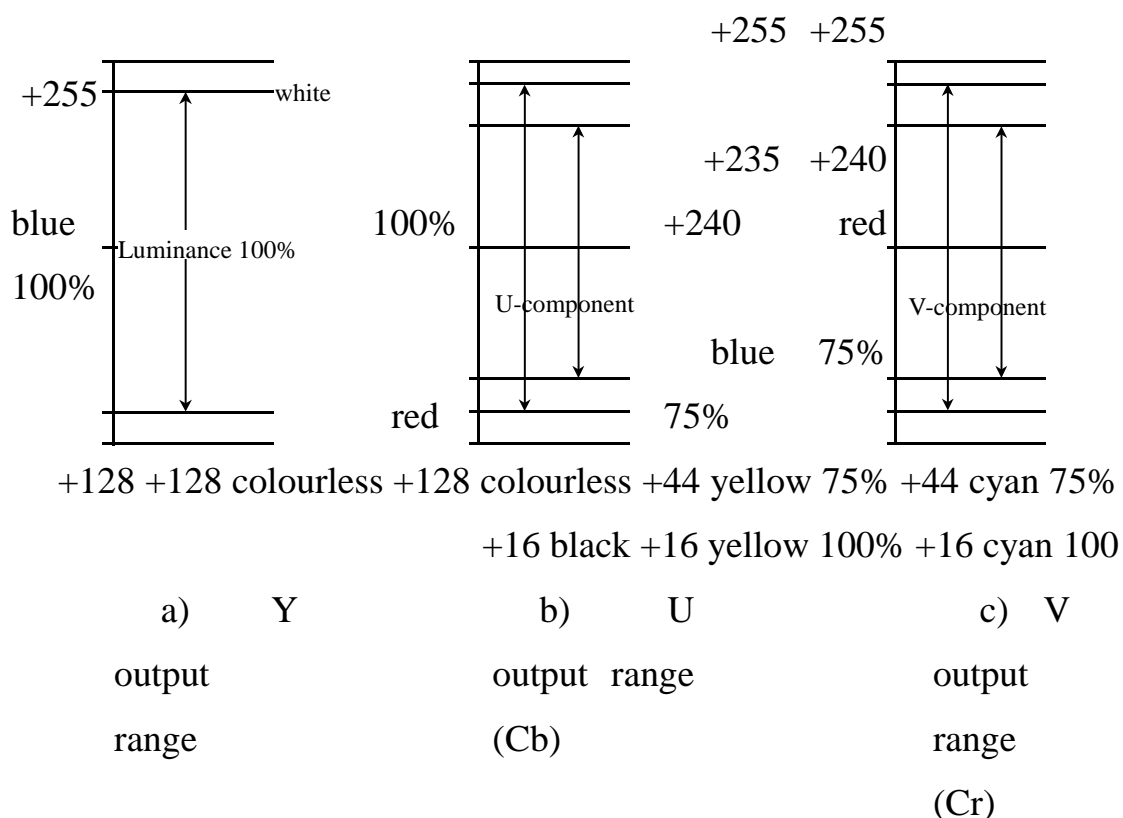


Рис 1.5 - Представлення сигналу яскравості та сигналу кольоровості для 8-розрядного АЦП

Сигнали декілька обмежуються з обох сторін. Це пов'язано з наявністю додаткових сигналів, які будуть описані нижче. Крім того, сигнал кольоровості використовують таким чином, що його середнє значення відповідає відсутності колірних складових.

Передача відеосигналу передбачається як в паралельному, так і в послідовному вигляді. Як правило, використовується передача у паралельному вигляді з використанням 8-розрядної шини даних.

Так як для передачі кольорового відеосигналу треба передавати не тільки сигнал яскравості, но і сигнал кольоровості, то передбачається їх передача в загальному потоці. При цьому реалізується схема 4: 2: 2. Тобто, на кожні чотири відліки сигналу яскравості доводиться по два відліку з сигналів кольоровості. Таким чином, для передачі кольорового відеосигналу треба 16-розрядна шина даних, по якій передаються сигнали з частотою 13,5 МГц або 8-розрядна шина даних з частотою передачі 27 МГц. Зазвичай вважають за краще останній варіант.

Формат даних для передачі відеосигналу 625 рядків 50Гц зображено на рис 1.6 [6].

Ліва частина потоку відповідає рядковому гасінню синхроімпульсів, а права частина - активному сигналу рядків. Як видно зі структури цифрового потоку відліки сигналу яскравості (Y) чергуються з відгуками сигналів кольоровості (CR) і (CB). Для передачі повного кольорового відеосигналу в межах періоду одного активного рядка треба подвійну кількість відліків, тобто 1440.

Цифрова інформація, відповідна з положенням сатиричного імпульсу, що гасіння може використовувати для передачі додаткової та службової інформації. Разом з тим, вона використовується і для синхронізації цифрового відеосигналу.

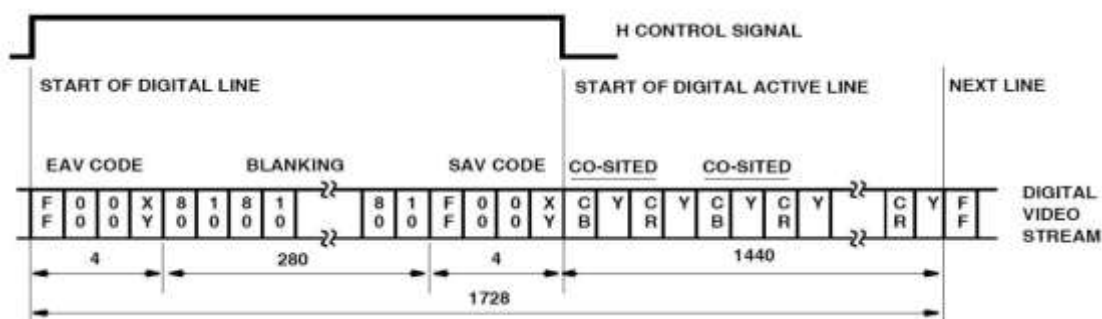


Рис 1.6 - Формат даних для передачі відеосигналу 625 рядків 50 Гц:
start of digital line - початок цифрового рядка, start of digital active line

- початок активної частини цифрового рядка, next line - наступний рядок

Цифровий сигнал синхроімпульсу завжди починається з службової послідовності EAV (end of active video - кінець активної частин відеосигналу) і закінчується іншою службовою послідовністю SAV (start of active video - початок активної частин відеосигналу). Наявність між ними 280 байт можуть використовувати для передачі додаткової інформації.

SAV и EAV складаються з чотирьох байт. Перші три з них: FF 00 00 - завжди однакові. Четвертий байт містить в собі інформацію про тип сигналу (початок або кінець рядка, після 1 або 2, кадровий або рядковий синхроімпульс).

При передачі цифрової інформації, відповідної кадрового гасіння синхроімпульсів, виявляється вільною і частина сигналу, відповідна активної частин рядка. Тому в межах кадрового гасіння синхроімпульсів можна передавати тільки додаткову інформацію, що чергується службовими послідовностями SAV и EAV.

Таким чином, наявність службових послідовностей SAV и EAV дозволяють здійснити внутрішню синхронізацію цифрового відеосигналу без використаних додаткових сигналів малої, кадрової синхронізації і імпульсів полів. Вся необхідна інформація міститься в цих службових послідовностях. Для роботи з ними необхідний тільки простий декодер сигналів SAV и EAV, який за наявністю послідовності FF 00 00 відшукує службові сигнали..

Слід зазначити, що обсяги даних, які можна передати в якості додаткової інформації в ділянках гасильних імпульсів досить велика. Зокрема, це обсяги дозволяють передавати високоякісний звуковий сигнал без стиснень з параметрами оцифрування (5 каналів, 16 біт, 48 кГц).

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | МРП.171.071.003 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 25 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Так, прагнення використовувати квадратні пікселі призвело до того, що треба було ввести корекцію на частоту дискретизації для різних кольорових стандартів. Наприклад, для стандарту 625 рядків 50 Гц треба було збільшення частоти з 27 до 29,5 МГц. У зв'язку з цим формат кадру збільшився до 768x576 пікселів. При цьому число байт, відповідне активній частині рядка збільшилася до 1536, а область між сигналами EAV и SAV збільшилася до 344 байт (рис. 1.7) [6].

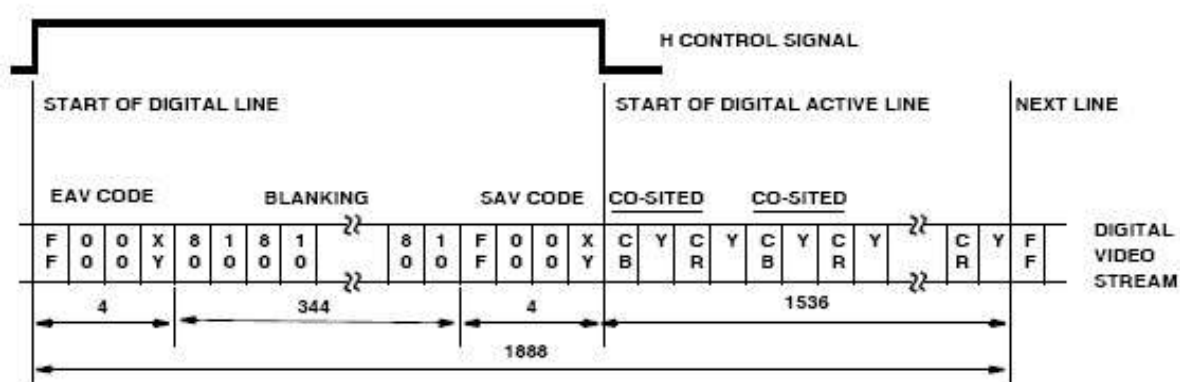


Рис 1.7 - Формат даних для передачі відеосигналу 625 рядків 50 Гц
с корекцією на частоту дискретизації

Таким чином, цифровий сигнал стандарту ITU-R BT.656 є універсальним засобом передачі відеосигналу в цифровий формі, який не потребує додаткового синхросигналу.

1.3 Фотоприймачі на базі приладів із зарядовим зв'язком

Прилади з зарядовим зв'язком були винайдені в 1969 р. Принцип їх роботи заснований на перенесенні зарядових пакетів. Для фоточутливих приладів із зарядним зв'язком (ПЗЗ) слід розділити процеси фотогенерації, перенесення зарядів и детектування зарядів.

Фотогенерація в ПЗЗ заснована на внутрішньому фотоэффекті в напівпровідниках [7]. У цьому випадку світлове випромінювання (фотони) потрапляючи на фоточутливу поверхню (напівпровідник) перетвориться в електронно-діркові пари. При цьому кількість цих пар буде пропорційна інтенсивності падаючого світлового випромінювання. Для збору носіїв заряду слід створити певні умови, а саме розділити носії зарядів (дірки і електрони), щоб перешкодити їх рекомбінації. Для цієї мети використовується електричне поле. Найпростішим фотоприймачем, здатним акумулювати носії заряду є МОП-конденсатор (рис. 1.8).

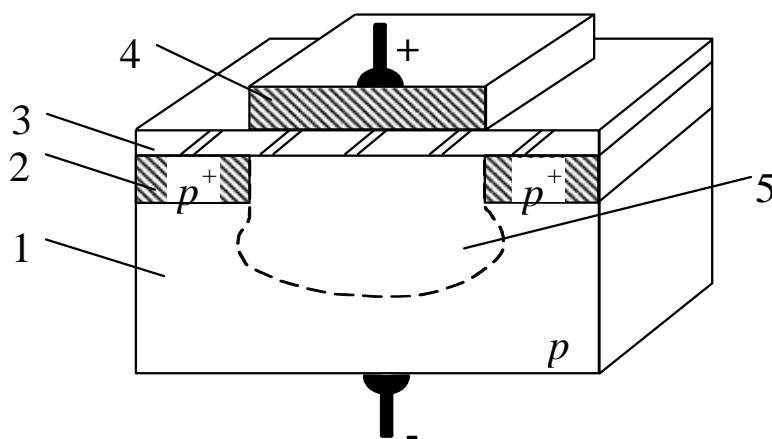


Рис 1.8 - МОП-ємність: 1 - напівпровідник; 2 - стоп-канальна область; 3 - оксид; 4 - електрод; 5 - збіднена область

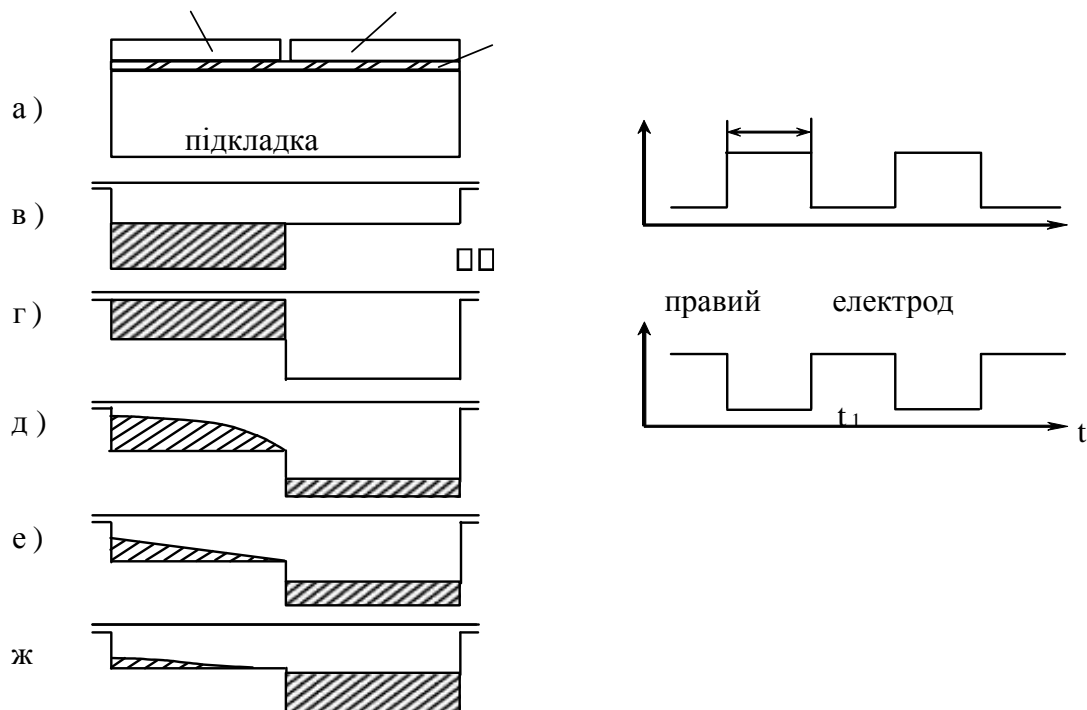
Шари металу і діелектрика в цьому конденсаторі дуже тонкі і не перешкоджають проходженню світлового випромінювання в товщу напівпровідникової підкладки 1. При подачі напруги між електродами носії заряду розділяються. Дірки рухаються в бік негативного електрода, йдуть в товщу напівпровідникової підкладки. Електрони навпаки рухаються у гору, в сторону позитивного електрода. Електрони навпаки рухаються нагору, в сторону

позитивного електрода. Досягнувши шару оксиду (діелектрика) вони накопичуються під ним і утворюють зарядовий пакет, величина якого пропорційна експозиції світлового потоку, що падає на це МОП-конденсатор. Максимальний розмір зарядового пакета зазвичай виражається числом електронів що містяться в ньому, зазвичай становить кілька сот тисяч електронів. Цією величиною визначається експозиція насичення, яка створила максимальний зарядовий пакет. Крім електронів, отриманих в результаті фотогенерації (фотоелектронів) в зарядовому пакеті завжди присутні і електрони, утворені внаслідок термогенерації. Останні створюють заважаючий фон що є додатковим джерелом шумів.

Перенесення зарядів власне є головна особливість ПЗЗ. Зарядовий пакет необхідно виміряти та результат вивести з приладу назовні у виді напруги або струму. З цією метою організовується перенесення заряду. Для ілюстрації цього процесу скористаємося двома близько розташованих МОП-конденсаторами, представлених на рис 1.9 [7].

Для забезпечення незалежного накопичення зарядових пакетів потрібно здійснювати накопичення під кожним третім МОП-конденсатором. У цьому випадку як при накопиченні, так і при переносити не буде зіткнення зарядових пакетів, вони будуть незалежні один від одного як при накопиченні, так і при перенесенні. У цьому випадку регулярну структуру МОП-конденсаторів зручно об'єднати за допомогою трьох керуючих фаз. Тепер металеві електроди МОП-конденсаторів електрично з'єднані один з одним фазними шинами, які в свою чергу є керуючими електродами цієї структури, на які подаються зовнішні керуючі сигнали.

Рис 1.9 - Два МОП-конденсатора, що пов'язані зарядовим зв'язком:



Дві МОП-ємності, пов'язані зарядним зв'язком :

- А - перетин; б - імпульсні зміщення, що подаються на електроди;
- в - потенційна яма утворена під лівим електродом і заповнена зарядом;
- г - порожня потенційна яма утворена під правим електродом;
- д - перенесення зарядів самоіндукованим дрейфом;
- е - перенесення зарядів крайова полем;
- ж - перенесення зарядів дифузією

Як видно з малюнка 1.10 зарядові пакети будуть виконувати спільне переміщення по ланцюжку з пов'язаних між собою МОП-конденсаторів при подачі на керуючі шини трифазного сигналу, вид якого показаний на малюнку 1.10, д. Кількість

МОП-конденсаторів в ланцюжку може досягати декількох десятків тисяч (в лінійних ПЗЗ) і обмежується неефективністю і шумами перенесення заряду.

Детектування зарядів є останнім процесом в роботі ПЗЗ. Інформація, передана зарядовими пакетами, мусить бути прочитана, перетворена та в зручній формі виведена з мікросхеми ПЗЗ [7].

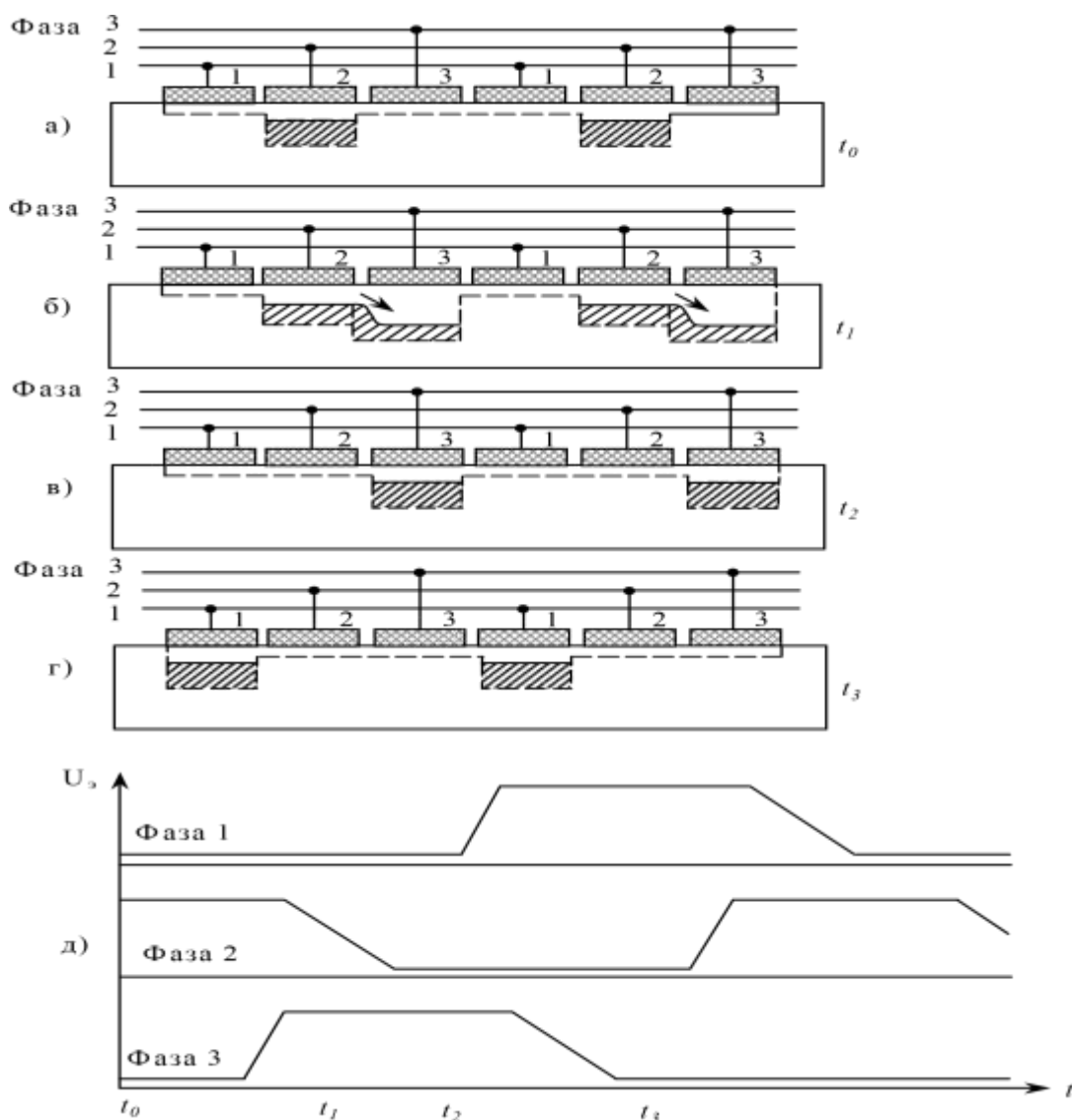


Рис 1.10 - регулярно структура на основі МОП-конденсаторів: а - зарядові пакети під електроди фази 2; б - під електродом приймаючої фази 3 утворилися потенційні ями, в них переходять зарядові пакети з-під електродів віддає фази 2; в — Закінчився перенесення зарядових

пакетів; г - після повторення операцій б, в для фаз 3 і 1, зарядові пакети перемістилися далі вправо, під електроди фази 1; д - тактова діаграма

Для цього в ПЗЗ є спеціальний вихідний пристрій (рис. 1.11). Знаходиться він в кінці ланцюжки МОП-конденсаторів, і зарядові пакети передаються в сторону вихідного пристрою. Основою вихідного пристрою є вихідний польовий транзистор VT1, затвор якого є елементом, який бере участь в перенесенні зарядового пакета (плаваючий затвор), який також представляє собою конденсатор. При попаданні чергового пакета в зону плаваючого затвора останній заряджається до напруги, що залежить від величини зарядового пакета, а також від ємності затвора.[2]

Таким чином, транзистор VT1 виконує роль перетворювача заряд-напруги, параметри якого залежать від ємності затвора та від крутизни польового транзистора. З виходу польового транзистора може бути зчитан сигнал у виді напруги, величина якого буде пропорційна величині зарядового пакета і, отже, експозиції світлового потоку, що падає на МОП-конденсатор, який сформував даний зарядовий пакетом.

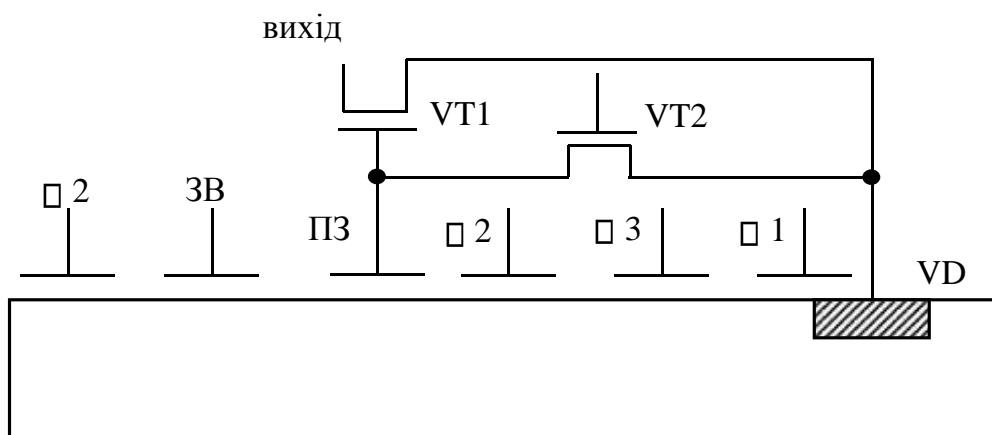


Рис 1.11 - Принцип роботи вихідного пристрою ПЗЗ

При послідовній передачі зарядових пакетів в вихідний пристрій відбувається послідовне детектування зарядових пакетів (зарядового рельєфу) фотоприймача [7]. На виході вихідного пристрою формується напруга (відеосигнал), що змінюється відповідно до зміни величин зарядових пакетів, що послідовно надходять в зону плаваючого затвора вихідного пристрою (рис. 1.12). Цим же малюнком можна проілюструвати роботу лінійного ПЗЗ.

Для роботи матричного ПЗЗ треба двовимірній масив МОП-фотоприймачів. Матричний фотоприймач можна уявити як комбінацію з відповідної кількості лінійних фотоприймачів. Основна особливість його полягає в способі виведення зарядових пакетів назовні [7]. Принцип роботи матричного фотоприймача ілюструється рис 1.13.

Масив фоточутливих елементів утворюється металевими шинними електродами, що перетинаються у всьому фотоприймачі по горизонталі. Ці електроди також об'єднані в три фази, аналогічно лінійному фотоприймачу. Однак, в цьому випадку утворилася б лінійка довгих горизонтальних елементів і вся структура виявилась б модифікацією лінійного фотоприймача з широкими елементами. Щоб сформувати дійсно двовимірну матрицю фоточутливих елементів потрібно було створення спеціальних легованих областей - стоп-каналів (рис. 1.14). Ці стоп-канали являють собою ділянки напівпровідникової підкладки, на яких формується потенційний бар'єр між потенційними ямами. Таким чином, одна довга потенційна яма під фазним електродом претворюється в велику кількість потенційних ям, обмеження з обох сторін стоп-каналами [7].

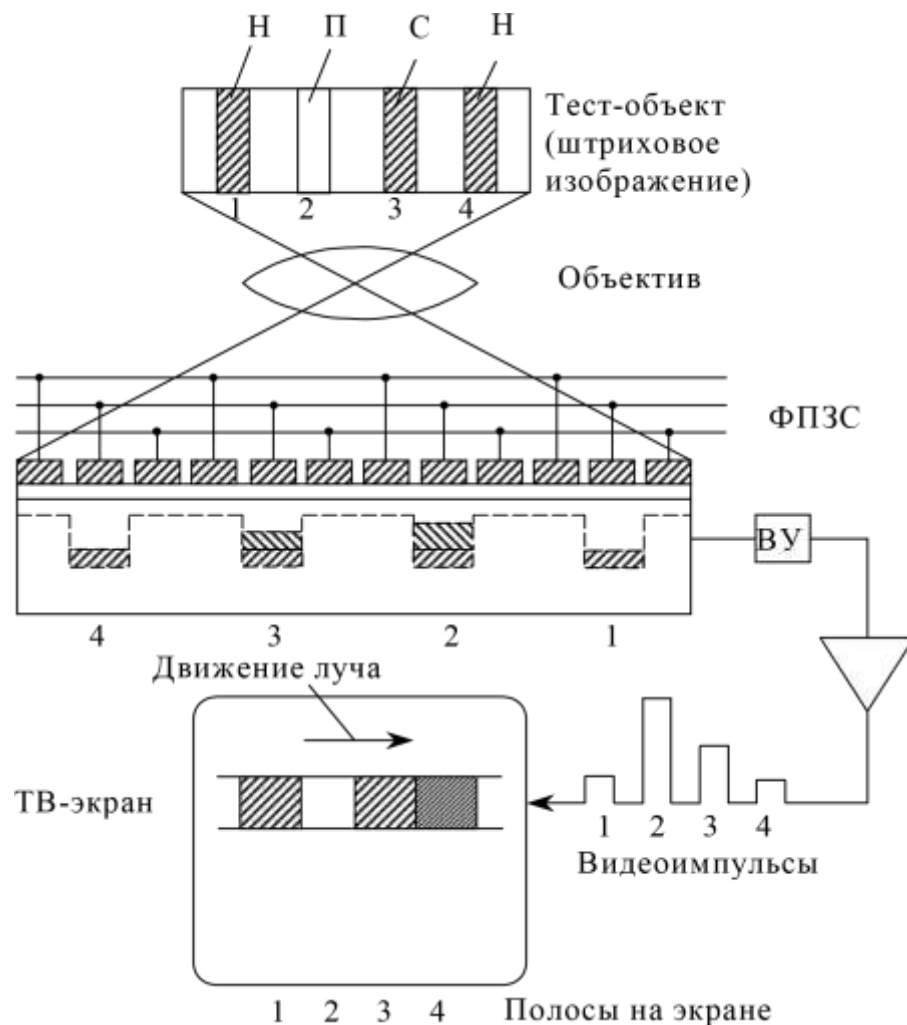


Рис 1.12 - Формування відеосигналу на лінійному ПЗЗ [2]

Накопичення в такій структурі проводиться аналогічно лінійному фотоприймачу. На один з фазних електродів подається керуючий потенціал, що забезпечує формування потенційних ям. Через певний час (час накопичення) проводиться експозиція світлового потоку, фотогенерація та формування зарядового рельєфу в елементах.

Після накопичення проводиться процес перенесення, який суттєво відрізняється від перенесення в лінійному фотоприймачі. Для цього в приладі є допоміжний регістр перенесення, аналогічний за структурою до лінійного фотоприймача. Цей регістр примикає до основного масиву фоточутливої матриці (рис. 1.13).

При першому акті перенесення сигнал з нижньої найближчої до вихідного регістру рядка переноситися паралельно в вихідний регістр. Потім цей сигнал послідовно переноситися в вихідному регістрі в напрямку вихідного пристрою, детектується і виводить назовні. Для забезпечення синхронізації швидкість виведення всіх зарядових пакетів вихідного регістра повинна відповідати швидкості перенесення одного рядка основній фоточутливої матриці (секції накопичення).



Рис 1.13 - Найпростіший матричний ПЗЗ [2]

Для роботи фотоприймача в стандартному телевізійному режимі треба, щоб дотримувалися основні параметри відеосигналу, а сам: частота кадрів - 25 Гц, черезрядкова розгортка та 625 рядків (575 активних) рядків.

Це виконано наступний чином. Число рядків в фотоприймачі 288. Для реалізації черезрядкової розгортки в різних полях накопичення проводиться під різними фазами. Таким чином, загальне число рядків (активних) ставити 576. Частота перенесення

в секції накопичення, а також цикл роботи вихідного регістра ставить 15625 Гц або 64 мкс, що відповідає параметрам рядкової розгортки. Загальний час виведення всіх рядків плюс формування кадрового гасіння імпульсів ставити 40 мс або 25 Гц, що відповідає параметрам кадрової розгортки. Таким чином, сигнал з матричного ПЗЗ повністю відповідає поважної телевізійного стандарту.[3]

Ще одна особливість роботи ПЗЗ також пов'язана з переносом. Діло у тому, що при перенесенні оптичне вікно фотоприймача залишається відкритим і в процесі перенесення також можлива фотогенерація. Це може призвести до небажаного браку зображення, особливо в області яскравих об'єктів у полі зору [7]. Для зменшення негативного ефекту браку зображення запропоновані кілька варіантів (рис. 1.14).

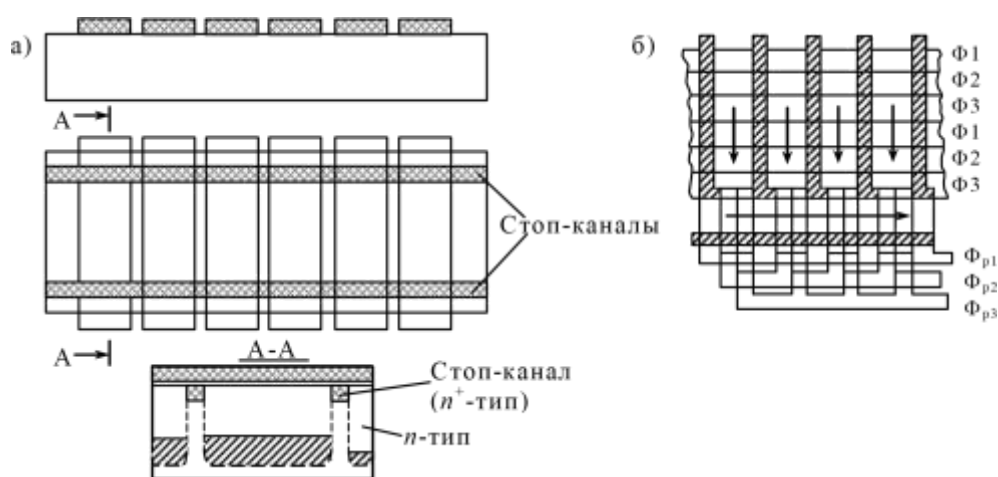


Рис 1.14 - області стоп-каналів в ПЗЗ: а - матричний ПЗЗ з відкритою секцією накопичення, б - матричний ПЗЗ з кадровим перенесенням

На рис 1.14,а приведено найпростіший матричний ПЗЗ з відкритою секцією накопичення, суміщеної з секцією перенесення. Тут брак проявляється найбільшим чином.

На рис 1.14,б приведена схема матриці з кадровим перенесенням. Тут матрична частина фотоприймача розділена на дві рівні частини.

Верхня зона (секція накопичення) призначена для формування зарядових пакетів. Для цієї зони існує відкритий оптичний канал або прозоре вікно для надходження через нього світлового потоку. Нижня частина матриці називається секцією перенесення (зберігання або пам'яті). Ця секція використовується в якості буфера для зберігання та перенесення зарядового рельєфу, сформованого секцією накопичення.[4]

Робота фотоприймача здійснюється наступним чином. Спочатку здійснюється накопичення зарядових пакетів в результаті фотогенерації в секції накопичення. Потім проводиться швидке перенесення накопичених зарядових пакетів в секцію перенесення. Секція накопичення звільняється та починає накопичувати сигнал наступного поля відеосигналу.

А в цей ж самий час зарядові пакети з секції пам'яті по рядках та з рядковою частотою виводяться через вихідний регістр до вихідного пристрою.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | МРП.171.071.003 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 36 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

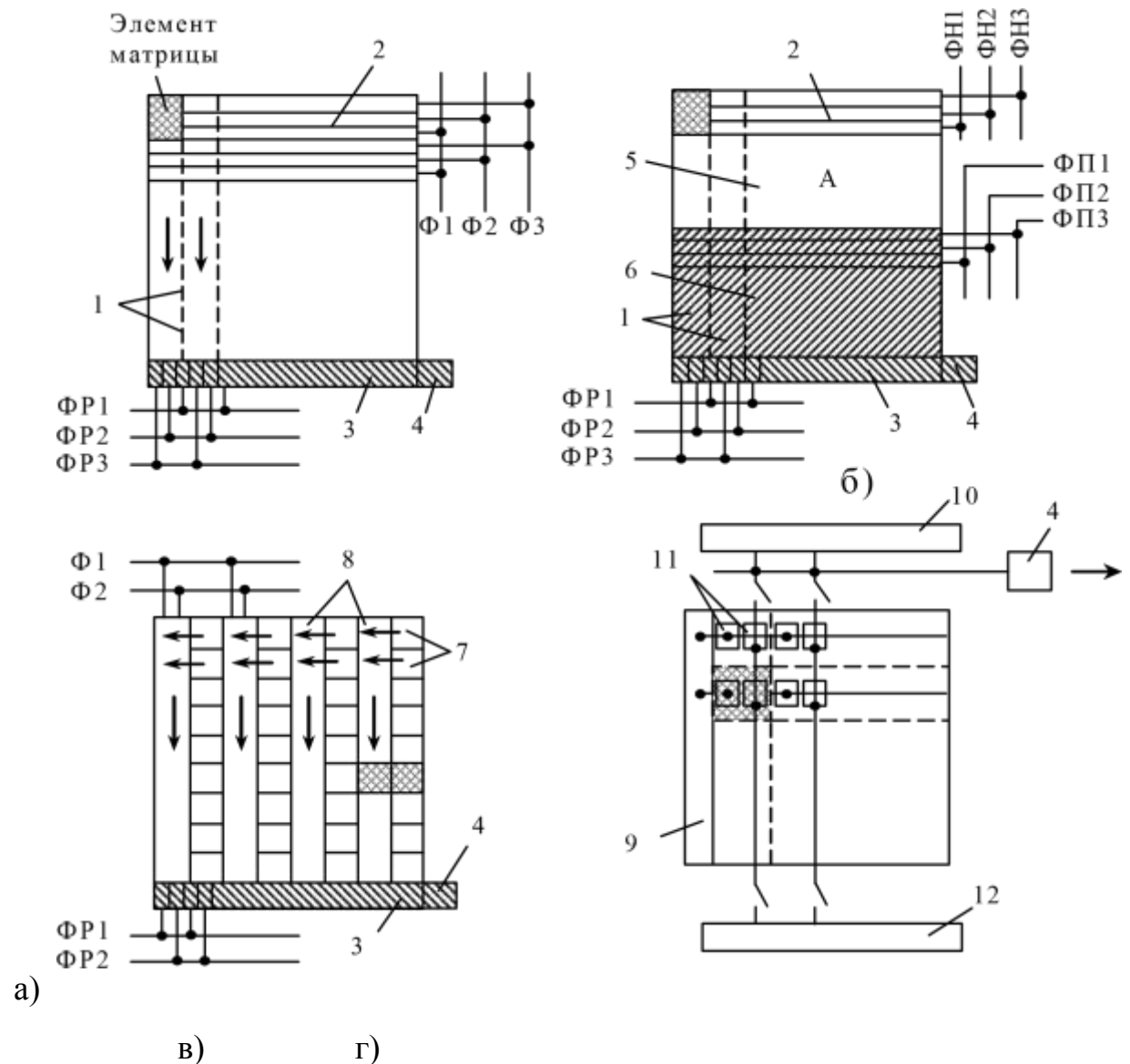


Рис 1.15 - Матричні ПЗЗ:

а - матриця з регулярною структурою без поділу областей накопичення і перенесення; б - матриця з перенесенням кадрів; в - матриця з рядково-кадровим перенесенням; г - прилад з інжекцією заряду; 1 - стоп-канали; 2 - електроди; 3 - зсувний вихідний регістр; 4 - вихідний пристрій; 5 - область накопичення; 6 - область пам'яті; 7 - надчутливі елементи; 8 - зсувні регістри, захищені від світла;

9 - рядковий регістр; 10 - строковий регістр; 11 — здвоєні МОП-ємності; 12 - опорна напруги.

Матриця з кадровим перенесенням проста за структурою, але має кілька недоліків:

- загальна кількість елементів матриці подвоюється, при цьому подвоюється і площа кристала;
- число актів перенесення збільшується, тому збільшується и неефективність перенесення і шум перенесення;
- брак усувається в повну обсязі, тому що як и раніше присутності перенесення в секції накопичення, відкритої для світу.

На рис 1.15в, наведена схема матриці із рядково-кадровим перенесенням. Тут секції накопичення і перенесення суміщені. Вертикальні фоточутливі області в них чергуються з екранованому від світла регістрами зчитування.[7]

1.4 Технічні параметри фотоприймачів на базі приладів зарядового зв'язку

Основним параметром, що визначають якість матричного фотоприймача є його роздільна здатність. Вона цілком визначається форматом матриці або кількістю фотоприймальних елементів. Роздільну здатність зазвичай визначаються методом спостереження спеціальних таблиць або штрихових мір. Виражається роздільна здатність в кількості ліній, що спостерігаються на моніторі по кожній координаті. Чим більш ліній спостерігається на моніторі, тим вище роздільна здатність.[7]

Для стандартних телевізійних камер формат зображення обмежено телевізійнім стандартом. У цьому випадку кількість елементів по вертикалі обмежена значенням 575 активних рядків. З огляду на факт, що елементи зображення доцільно виконувати

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | МРП.171.071.003 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 38 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

квадратних, а співвідношення сторін телевізійного зображення ставити 4: 3, то кількість елементів по горизонталі в стандартних камерах, як правило, ставить 750. З огляду на це, формат матриці для стандартної камери ставити 750x576 елементів або 0, 43 Мп. Однак технологічно існує можливість випускати фотоприймачі значно більшого формату, але вони вже не будуть відповідати телевізійному стандарту. Такі ПЗЗ випускаються для телебачення високої чіткості, електрон фотоапаратів, систем обробки збережених, наукових досліджень и астрономії. Параметри де як випускаються ПЗЗ наведені в таблиці 1.16 [8].

Чутливість визначається двома параметрами - вольтовою чутливістю, тобто крутизною світло-сигнальної характеристики фотоприймача і порогової чутливістю - величиною мінімального реєстрованого світлового потоку.

Чутливість ПЗЗ в першу чергу визначається фізичним принципом роботи цього фотоприймача, тобто явищем внутрішнього фотоефекту в напівпровідниках. Основним параметром внутрішнього фотоефекту є величина квантового виходу. Квантовий вихід - це відношення величини отриманої носіїв заряду (електронно-доручених пар) до кількості попавших на напівпровідник фотонів. Середнім значенням квантового виходу для ПЗЗ є величина 0,5-0,6 в діапазоні видимої довжини хвилі [8].

Вольтова чутливість крім квантової ефективності визначається площею фоточутливого елемента. Крім того, вольтова чутливість визначається крутизною характеристики вихідного пристрою ПЗЗ.

Чутливість телевізійних камер на ПЗЗ визначається ефективністю накопичення заряду і шумом, що складається з двох складових: детермінованих шумів та флуктуаційних шумів[9].

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | МРП.171.071.003 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 39 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Детерміновані шуми складаються з комутаційної шумів (імпульсних напруг на електродах матриці) та геометричного шуму (неоднорідності темнового струму і чутливості елементів матриці ПЗЗ). Флуктуаційний шум представляє собою сукупність наступних шумів: фотонів, темнового струму, фонового заряду, мінімально необхідного для ефективного переносу, перенесення вхідного и вихідного пристроїв.

Розглянемо власні шуми ПЗЗ: фотонні шуми, шуми темнового струму і шуми перенесення. Крім цих складових необхідно також враховувати шуми вбудованого в телевізійну камеру підсилювача, що включаються в собі шуми вхідного ланцюга та транзистора [10, 11].

Рівень шумів ПЗЗ прийнято оцінювати середньо квадратичним числом шумів електронів N , що представляються собою середньоквадратичне відхилення числа носіїв в кожному зарядовим пакеті, переносимого в ПЗЗ.

Таблиця 1.16 - Параметри деяких ПЗЗ

| Найменування матриці | Кількість пікселів | Розмір діагоналі, мм | Ефективні пікселі (НхV) | Частота кадрів, Гц | Розмір пікселя, мкм |
|----------------------|--------------------|----------------------|-------------------------|--------------------|---------------------|
| Sony | | | | | |
| ICX419ALL | 440K | 8 | 752x582 | 30 | 8,4x8,4 |
| ICX229AK | 440K | 4 | 752x582 | 50 | 4,2x4,2 |
| ICX238AKE | 380K | 3 | 768x494 | 50 | 3,1x3,1 |
| ICX205AK | 1,4M | 8 | 1392x1040 | 15 | 4x4 |
| ICX252AK | 3,2M | 8 | 2078x1558 | 15 | 3x3 |

| | | | | | |
|------------------|-------|-------|-----------|-------------|---------|
| Texas Instrument | | | | | |
| TC253SPD-30 | 325K | 6,08 | 656x496 | 60 | 7,4x7,4 |
| TC285SPD-30 | 1M | 11,2 | 1004x1002 | 20 | 8x8 |
| Dalsa | | | | | |
| FTT1010M | 1M | 16,8 | 1024x1024 | 60 | 12x12 |
| FTF2020M | 4M | 34,44 | 2048x2048 | 30 | 12x12 |
| FTF3020C | 6M | 44,4 | 3072x3072 | 20 | 12x12 |
| FTF4027M | 11M | 43,3 | 4008x2672 | 7,5 | 9x9 |
| FTF4052M | 22M | 60,1 | 4008x5344 | 3,6 | 9x9 |
| FTF5056C | 33M | 59,9 | 4992x6668 | 2 | 7,2x7,2 |
| Kodak | | | | | |
| KAI-0340 | VGA | 5,9 | 640x480 | 110/2 10 | 9x9 |
| KAI-1011 | 1M | 12,9 | 1008x1018 | 15/30 | 9x9 |
| KAI-2020 | 1,9M | 14,8 | 1600x1200 | 15/30 | 7,4x7,4 |
| KAI-4021 | 4,2M | 21,4 | 2048x2048 | 8/15 | 7,4x7,4 |
| KAI-16000 | 16M | 43,4 | 4872x3248 | 1/3 | 7,4x7,4 |
| KAF-1602 | 1,6M | 16,6 | 1536x1024 | 2,2 | 9x9 |
| KAF-16802 | 16,6M | 51,9 | 4080x4080 | 0,5 | 9x9 |
| KAF-39000 | 39M | 61,3 | 7216x5412 | 0,9 | 6,8x6,8 |
| НПП «Пульсар» | | | | | |
| MPM756IL-11 | 440K | 10,5 | 756x581 | 30 | 11x11 |

| | | | | | |
|----------------------|-------|----------------|-----------|-----|-------|
| МРМ1000ІЛ -1 7 | 1М | 17,3 | 1024x1024 | 100 | 12x12 |
| ЦНДІ «Електрон» | | | | | |
| ФППЗ 32М | 0,45М | 20,7x15, 7 | 768x580 | 33 | 27x27 |
| ISD-075AP | 1,6М | 17,12x18 ,2 | 1225x1300 | 3 | 14x14 |
| ФППЗ 12М1 | 1,2М | 13,3x15 | 1024x1152 | 16 | 13x13 |

Природу фотонного шуму становляться флуктуації квантів в світловому потоці, опромінюють фоточутливу поверхню. За фотонний шум можна прийняти середньоквадратичне значення число фотоелектронів N_{ph} , накопичення на елементі за повний час накопичення, тобто за час кадра або напівкадру.[8]

Темновий струм, який є результатом термічної генерації носіїв заряду, що заповнюють збіднілу область, супроводжується додатковими дрібними шумами, рівень яких в розрахунку на зарядовими пакет можна визначити за формулою:

$$\bar{N}_T = \sqrt{\frac{I_T}{e f_0}},$$

де I_T - темновий струм; f_0 - тактова частота, e -заряд електрона.

Джерелами шумів перенесення є флуктуації зарядів, що захоплюються пастки. Можна показати, що рівень шумів перенесення визначається як [13]

$$\sqrt{N_{П}} = 30 * n,$$

де n - число трифазних переносів.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | МРП.171.071.003 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 42 |

Очевидно, що число шумів електронів N_p буде максимальним для пакетів, найбільш віддалених від вихідного регістра.

Тепловий шум вхідного ланцюга вбудованого підсилювача залежить від величини її ємності, що є одночасно вихідною ємністю ПЗЗ Свих. Тоді:

$$\overline{N}_{в.ц} = \sqrt{\frac{k_0 T C_{вих}}{e}},$$

де k_0 - Постійна Больцмана, T - абсолютна температура.

Розглянуті джерела шумів в ПЗЗ є незалежними. Тому повний шум у вихідному сигнал визначається сумою дисперсії числа електронів, що вносяться усіма джерелами:

$$\overline{N} = \sqrt{\overline{N}_\phi^2 + \overline{N}_T^2 + \overline{N}_n^2 + \overline{N}_{в.ц}^2}.$$

Тоді шумова напруга матриці ПЗЗ знаходиться за формулою:

$$\overline{U}_m = \frac{e}{C_{вых}} \overline{N}.$$

Шуми вбудованого підсилювача, виконаного на МОП - транзисторі, складаються з теплових шумів каналу и поверхневого шуму, спектральна щільність яких:

$$G(f) = 4k_0 \cdot T \cdot R_{ш} \cdot (1 + f' / f)$$

де $R_{ш}$ - шум опору транзистора; $f = 10^4 * 10^5$ Гц.

Відповідна шумова напруга вбудованого підсилювача :

$$\overline{U}_{yc}^2 = \int_{f_n}^2 G(f) df = 4k_0 \cdot T \cdot R_{ш} \cdot [f_n - f_n + f' \ln(f_n / f_n)]$$

Сумарне значення шуму матриці и підсилювача:

$$\overline{U}_{ш} = \sqrt{\overline{U}_{yc}^2 + \overline{U}_m^2}.$$

Має значення також коефіцієнт використання світлового потоку. Коефіцієнтом використання світлового потоку називають відношення площі фоточутливих елементів матриці до загальної площі кристала. Найбільше значення цей коефіцієнт має в матриці з рядково-кадровим перенесенням, у яких на кристалі виникають зони, які не беруть участі у фотоелектричному перетворенні. Це трохи знижує значення коефіцієнта використання (до двох разів). Однак це зменшення з лишком компенсується подальшим посиленням сигналу. Крім того, використання останніх досягнень - мікролінз (рис. 1.17) над кожним фоточутливим елементом - дозволяє збільшити значення коефіцієнта використання.

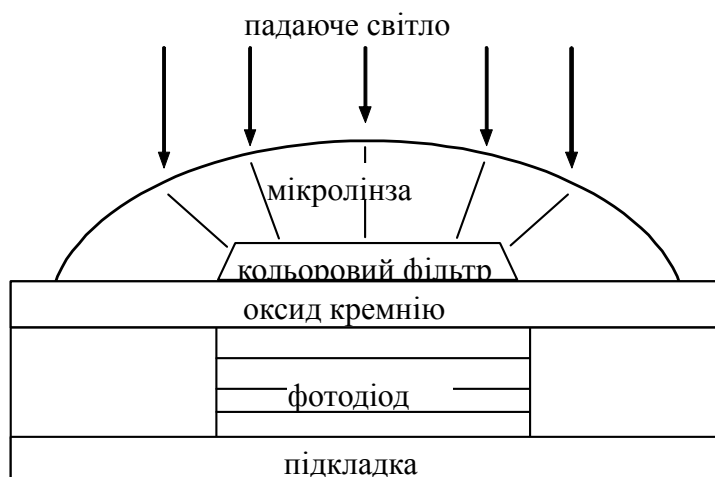


Рис 1.17 - Принцип використання мікролінзи

Спектральна чутливість ПЗЗ визначається матеріалом підкладки, тобто кремнієм. Вона відповідає спектральній чутливості будь якого кремнієвого фотоприймача, тобто діапазон приблизно від 0,4 до 1,1 мкм і максимум приблизно 0,8 мкм [15]. Однак наявність металевих і оксидних шарів над напівпровідником створює ефект інтерференційного світлофільтру (графік спектральної чутливості ПЗЗ показан на рис 1.18).

Порогова чутливість залежить від складу і величини власний шумів фотоприймача.

Найбільш істотний внесок вносять шум фотонів, шум темнового струму, шум установки вузлів детектування заряду, шум вихідного пристрою, шум перенесення. Практично всі види шумів зменшуються при знижені робочої температури кристала.

Існує також детермінований геометричний шум, викликаний розкидом параметрів окремих пікселів. Тут слід виділити такі джерела, як нерівномірність чутливості і нерівномірність темнового струму від елемента до елемента. Крім того, слід враховувати спотворення, пов'язані з неефективністю переносу.

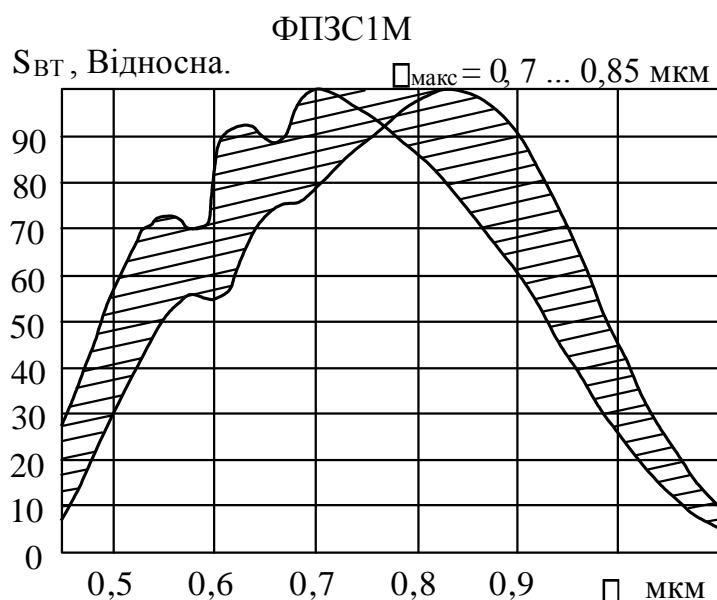


Рис 1.18 - спектральна чутливість кремнієвого фотоприймача

Динамічний діапазон роботи фотоприймача представляє собою відношення максимального зарядового пакета до величини сумарного шуму. У ПЗЗ максимальне значення зарядового пакета визначається, в основному, розміром фоточутливого елемента. Мінімальне значення зарядового пакета, що відповідає значенню шуму зазвичай ставить кілька сотень або десятків електронів.

1.5 Фотоприймачі на компліментарній основі метал-оксид-напівпровідник

Прилади з зарядовим зв'язком, що з'явилися в 1969 р. привели до твердотільної революції в телебаченні. У результаті практично всі телевізійні перетворювачі зображення стали виконувати по твердотільної напівпровідникової інтегральної технології. Однак, технологічні особливості ПЗЗ не дозволяли розробити телевізійну камеру і пристрої обробки на одному кристалі, тому що різні частини камери виконувалися за різними технологіями. У результаті телевізійна камера на ПЗЗ складається, як мінімум, з чотирьох інтегральних мікросхем: матричного ПЗЗ, синхрогенератора, перетворювач рівнів і відеопроцесора (відеопідсилювача). Технічно камера виконувалася на одній друкованій платі, габарити якої і були розміром пристрою в цілому. Перейти на новий рівень мініатюризації та забезпечити нові функціональні можливості можна було тільки в разі подолання бар'єру між технологіями виготовлення ПЗЗ та других інтегральних мікросхем.[2]

Якісним кроком у подальшій інтеграції з'явився новий матричний фоточутливий прилад - КМОН-фотоприймач. Основна відмінність цих фотоприймачів від ПЗЗ є використання іншого методу реалізації розгортки. Як відомо, ПЗЗ використовує перенесення зарядових пакетів по ланцюжку від місць їх формування до вихідного пристрою ПЗЗ (перетворювач заряду в напругу). У КМОН-фотоприймачах використовується координатна адресація до кожного елемента зарядового рельєфу, отриманого у результаті фотогенерації. Схема КМОН-фотоприймача першого покоління приведена на рис 1.19 [8].

Структура фотоприймача дуже нагадує структуру мікросхем динамічної пам'яті, яка складається з конденсаторів, що містять

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | МРП.171.071.003 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 46 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

інформаційний заряд, адресних шин та схеми управління адресацією. У мікросхемах пам'яті використовують дискретні (бінарні) значення ємності, характерні для кодування цифрової інформації. Доступ до конденсаторів здійснюється шляхом двухкоординатной шинної структури. У КМОН-фотоприймачах величина заряду в конденсаторах пропорційна середньому значенню освітленості зображення, що проектується на цей елемент. Тому для передачі інформації про величину освітленості у даному елементі необхідно передати заряд з конденсаторів на пристрій, що зчитує. Для цього і використовується система з двох координатних шин, за допомогою яких конденсатор підключається до вихідного пристрою. Основним недоліком такої схеми є велика ємність координатна шин відносно ємності конденсатора фоточутливої області. У результаті, сигнал з конденсатора приходить на пристрій послабленим та чутливість такого фотоприймача має невеликі значення.[2]

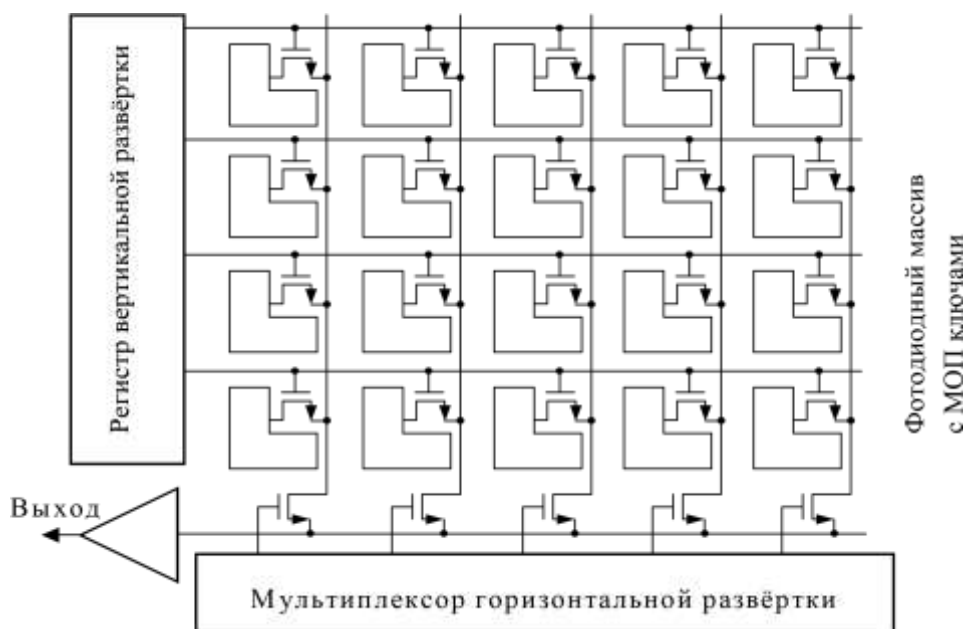


Рис 1.20 - Структурна схема КМОН-фотоприймача першого покоління[2]

Проте, новий прилад мав досить істотні переваги:

- Технологія виготовлення фотоприймальної матриці виявилась сумісною з технологією виготовлення більшості інтегральних приладів (логічних елементів, процесорів, пам'яті, підсилювачів та АЦП). Це дозволило в рамках однієї мікросхеми розробити високо інтегрований пристрій формування та обробки зображень.

- Довільний доступ до елементів фоточутливої матриці дозволив використовувати гнучке управління режимами роботи фотоприймача.

- Технологія КМОН (компліментарні структури метал-окисел-напівпровідник) освоєні більшістю виробників інтегральних мікросхем. Тому на відміну від ПЗЗ їх стали розробляти і випускати у великих кількостях. Це призвело до швидкого розвитку і вдосконалення цих приладів та зменшення їх вартості.

Основний недолік КМОН-технології був подоланий в 1993 р. коли була винайдена технологія активного пікселя [8]. Мова йде про включення підсилювального каскаду в кожен фоточутливий елемент матриці (рис. 1.21).

Розроблено це так, що поряд з кожним фоточутливим елементом присутній підсилювач, в найпростішому випадку одотранзисторний істоковий повторювач. Тепер ємність зчитування та ємність відеошини виявляється розділена цим підсилювачем. Ємність зчитування в такому приладі приблизно дорівнює ємності фоточутливого області ПЗЗ. З урахуванням вбудованого підсилювача коефіцієнт перетворення заряду в напругу став також вище ніж у приладі на ПЗЗ. У результаті чутливість і шумові характеристики КМОН-фотоприймачів зрівнялися і також перевищили показники ПЗЗ.

По мірі ускладнення технології створення КМОН-фотоприймачів ускладнювалася також і схемотехнічні особливості вбудованого підсилювача.

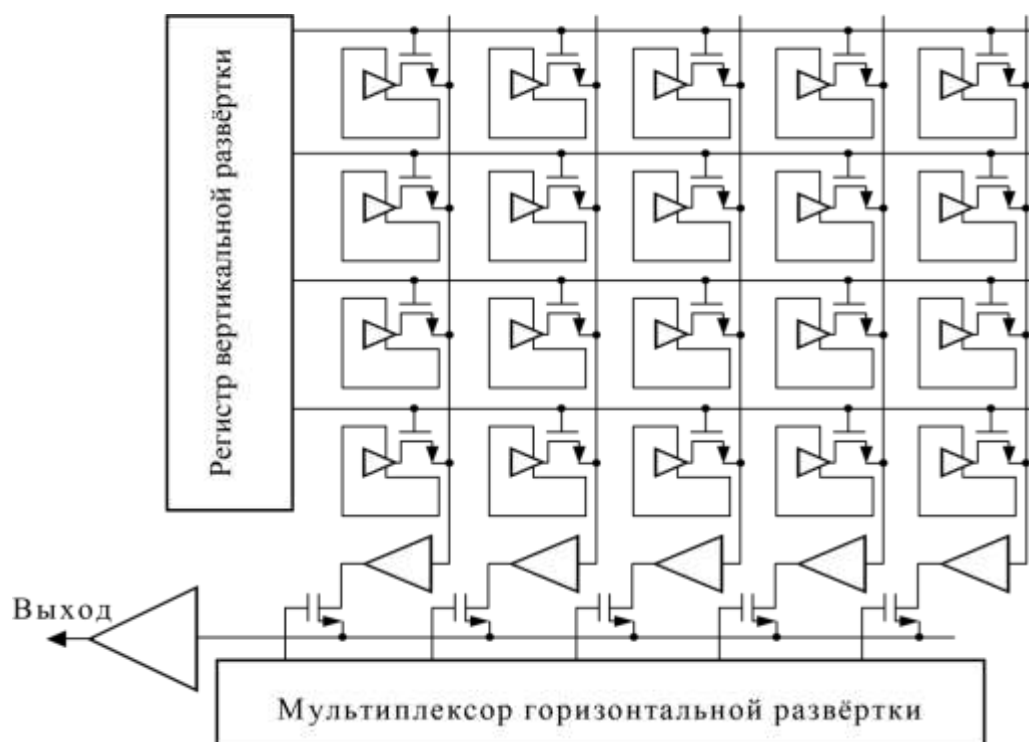


Рис 1.21 - Структурна схема КМОН-фотоприймача з технологією активного пікселя [8]

Ще один важливий напрямок розвитку КМОН-фотоприймачів був пов'язан з інтеграцією різних вузлів телевізійної камери і пристроїв обробки безпосередньо в кристал фотоприймача завдяки єдності КМОН-технології. Одним з перших кроків в цьому напрямку була інтеграція АЦП.[8]

Одною з переваг КМОН-фотоприймачів перед ПЗЗ стала можлива висока частота опитування елементів структури, що значно перевищувала аналогічний показник у ПЗЗ [8]. Тому при такій високій швидкості опитування важливо встигнути вивести та оцифрувати інформацію. Єдиним виходом такого є розпаралелювання процесу обробки шляхом введення декількох АЦП на кристал фотоприймача.

На рис 1.22 приведена структурна схема фотоприймача з вбудованим АЦП на кожен стовпець. У цьому випадку смуга частот аналогового відеосигналу, а також частота вибірок АЦП значно зменшуються. Комутація вихідних сигналів здійснюється в цифровому вигляді.

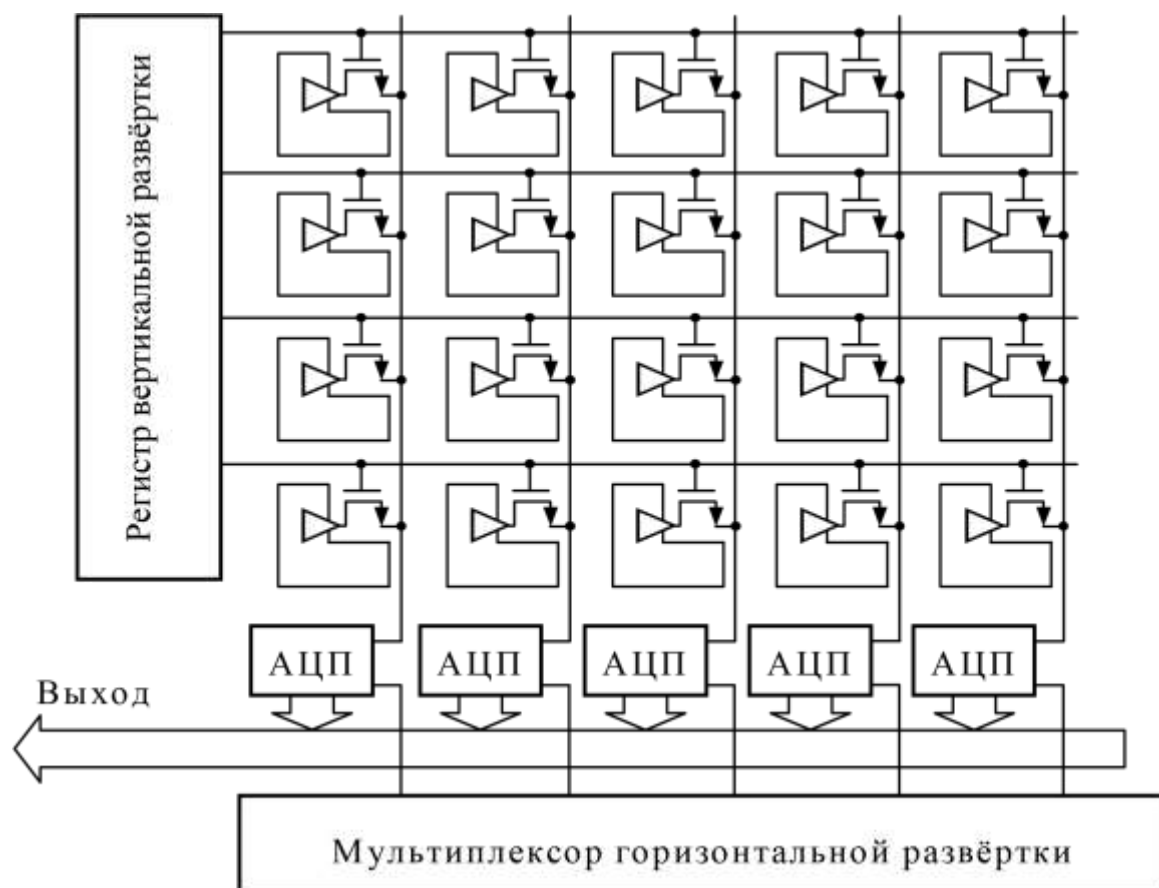


Рис 1.22 - Структурна схема КМОН-фотоприймача з активним пікселем і інтегрованим АЦП.[8]

Універсальність КМОН-технології дозволяє розробити новий тип електронних пристроїв, що характеризуються функціональною закінченістю завдяки інтеграції всіх або більшості функціональних вузлів пристрою на одному кристалі. Цей напрямок отримав назву системи на кристалі (System on Chip, SoC). На кристал фотоприймача інтегрується більшість вузлів для побудови цифрової системи обробки зображення. До таких вузлів крім власної фотоприймальної матриці з активними пікселями

відноситься керований генератор розгортки, цифровий та аналоговий відеопроцесор, АЦП, кодер композитного кольорового відеосигналу та блок управління.[9]

До таких приладів відноситься і КМОН-фотоприймач MT9M034 фірми Artina, який використовується в досліджуваній камері [16]. Структурна схема цього фотоприймача приведена на рис 1.23. Його основу складає фотоприймальна матриця з масивом активних пікселів 1280x960. У фотоприймач вбудований відеопідсилювач з регульованим коефіцієнтом посилення, регулювання балансу білого, 12-розрядним АЦП, компенсатором рівня чорного і цифровим відеопортом. Вся схема тактується від одного загального генератора, за допомогою котрого формуються всі необхідні для роботи прилади тактові послідовності. Управління режимами роботи прилада проводиться програмно з використанням вбудованого регістру управління, доступ до якого забезпечується за допомогою послідовного інтерфейсу.

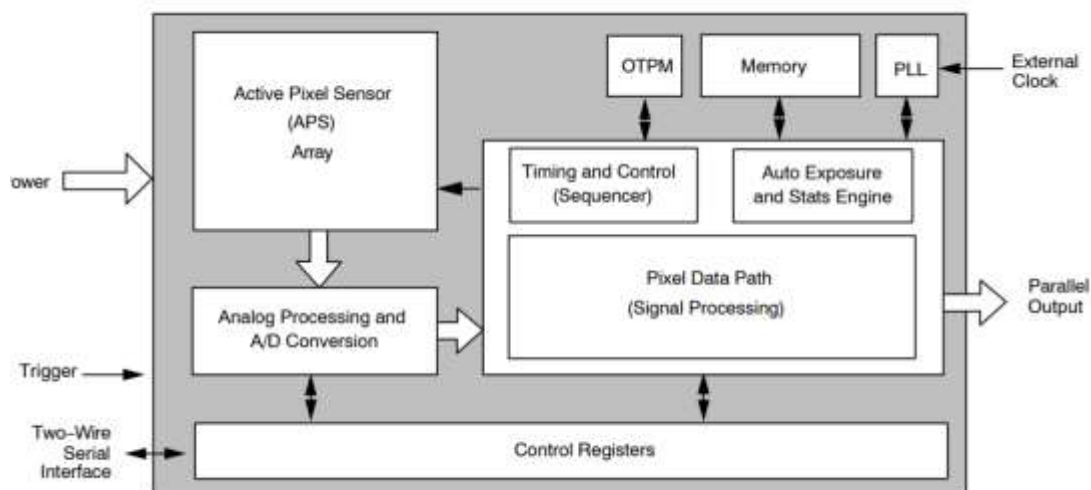


Рис 1.23 -Структурна схема КМОН-фотоприймача MT9M034[16]

1.6 Параметри і характеристики фотоприймачів на компліментарній основі метал-оксид-напівпровідник

Роздільна здатність у КМОН-фотоприймачах визначається числом світлочутливих елементів та їх геометричним розміром. Технологія виготовлення КМОН мікросхем є найбільш досконалою інтегральної технологією. Розміри елементів на кристалі значно менше одного мікрметра, а кількість елементів на кристалі ставить кілька мільярдів. Однак, фоточутливий елемент принципово не може бути дуже маленьким. Обмеження пов'язано з довжиною хвилі випромінювання, що приймається. Так, лінійний розмір фоточутливих елементів більшості КМОН-фотоприймачів ставити $3 \div 10$ мкм, а теоретичною межею на цей рік вважається розмір 1,5 мкм.

При таких параметрах число фоточутливих елементів складає кілька десятків мегапікселів. У перспективі немає ніяких проблем для створення КМОН-фотоприймачів з розміром матриці кілька сотень або також тисяч мегапікселів.

Можливість зміни режимів роботи фотоприймача дозволяє виконувати сумування сигналів окремих пікселів, а також вибирати із загального масиву робоче вікно довільного розташування і розміру.

Чутливість фотоприймача визначається наступними факторами: коефіцієнтом збору світлового потоку, квантовою ефективністю та власними шумами.

Коефіцієнтом використання світлового потоку називають відношення площі фоточутливих елементів матриці до загальної площі кристала.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | МРП.171.071.003 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 52 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Найбільше значення цей коефіцієнт має в матриці з пасивними пікселями. При використанні технології активних пікселів на кристалі виникають зони, що містять підсилювальні елементи. Ці зони не беруть участі в фотоелектричному перетворенні. Це трохи знижує значення коефіцієнта використання (до двох разів). Однак, це зменшення з лишком компенсується подальшим посиленням сигналу. Крім того, використання мікролінз над кожним фоточутливим елементом, як і у випадку ПЗЗ, дозволяє збільшити значення коефіцієнта використання.

Квантова ефективність є величиною, що залежить від матеріалу підкладки фотоприймача. В цілому, квантова ефективність ПЗЗ і КМОН-фотоприймачів збігаються. Для більшості приладів квантова ефективність має величину 0,5-0,6 для видимого діапазону довжини хвилі.

Параметри деяких КМОН-сенсорів наведені в таблиці 1.24 [8].

Складова власних шумів КМОН-фотоприймачів дещо відрізняються від власних шумів ПЗЗ. Найбільш істотний внесок вносить шум фотонів, шум темнового струму, шум установки вузла детектування заряду. Значний менший внесок вносить шум вихідного пристрою (завдяки технології активних пікселів). Абсолютно відсутній шум перенесення. Практично всі види шумів зменшуються при зниженні робочої температури кристала. При наявності вбудованого АЦП слід враховувати шум квантування.

Таблиця 1.24 - Параметри деяких КМОН-сенсорів

| Найменування сенсора | Кількість елементів | Тип, розмір | Ефективні елементи (HxV) | Частота кадрів, Гц | Розмір елемента, мкм |
|----------------------|---------------------|-------------|--------------------------|--------------------|----------------------|
| Sony | | | | | |

| | | | | | |
|------------------|-------|-----------|-----------|-----|-------------|
| IMX006 | 1,33M | 1 / 3,2 | 1296x985 | 15 | 3,45x3,45 |
| IMX011 | 2,13M | 1/3 | 1656x1249 | 15 | 2,925x2,925 |
| IMX007AQ | 12,4M | 1,8 | 4288x2848 | 5 | 5,49x5,49 |
| Sharp | | | | | |
| PJ24P3BA0ET | 3,27M | 1 / 3,2 | 2096x1560 | 3 | 2,2x2,2 |
| PJ23R3BA0ET | 4,06M | 1 / 2,5 | 2332x1740 | | 2,5x2,5 |
| PJ23T3BA0ET | 6,20M | 1 / 2,5 | 2872x2160 | | 2,05x2,05 |
| PJ23U3BA0ET | 7,40M | 1 / 2,5 | 3096x2328 | | 1,9x1,9 |
| PJ21V3BA0ET | 8,50M | 1 / 1,8 | 3320x2496 | 5 | 2,2x2,2 |
| PJ21W3BA0ET | 10,6M | 1 / 1,7 | 3696x2776 | | 2,05x2,05 |
| Panasonic | | | | | |
| MN39960 | 7,38M | 4/3 | 3136x2352 | 3 | 5,6x5,6 |
| Samsung | | | | | |
| S5K4AAF | 1,31M | 1/4 | 1280x1024 | | 2,8x2,8 |
| S5K3C1FX | 3,15M | 1/3 | 2048x1536 | | 2,25x2,25 |
| S5K2E1FX | 5,16M | 1 / 2,5 | 2616x1960 | 10 | 2,2x2,2 |
| Micron | | | | | |
| MT9M112 | 1,31M | 1/4 | 1280x1024 | 15 | 2,8x2,8 |
| MT9M413 | 1,31M | 20 mm | 1280x1024 | 500 | 12x12 |
| MT9T012 | 3,17M | 1 / 3,2 | 2056x1544 | 15 | 2,2x2,2 |
| MT9E001 | 7,99M | 1 / 2,5 | 3264x2448 | | 1,75x1,75 |
| Philips | | | | | |
| FXA1012 | 2,09M | 2/3 | 1616x1296 | 5 | 5,1x5,1 |
| Canon | | | | | |
| EOS 10 (704F) | 6,29M | 22,7x15,1 | 3072x2048 | 3 | 7,4x7,4 |
| EOS 350D | 8,00M | 22,2x14,8 | 3456x2304 | 3 | 6,4x6,4 |
| EOS 5D (706P) | 12,8M | 35 mm | 4368x2912 | 3 | 8,2x8,2 |
| EOS 1DsII | 16,6M | 35 mm | 4992x3328 | 4 | 7,2x7,2 |
| Kodak | | | | | |
| KAS-3100 | 3,15M | 1 / 2,7 | 2048x1536 | 12 | 2,7x2,7 |
| KAS-5000 | 5,04M | 1 / 1,8 | 2592x1944 | 6 | 2,7x2,7 |

Існує також детермінований геометричний шум, викликаний неоднорідністю параметрів окремих пікселів. Геометричний шум проявляється у вигляді вертикальної структури, яка добре виявляється при малих рівнях освітленості. Саме цей шум є чинником, що обмежує граничну чутливість КМОН-фотоприймачів.

Завдяки технології активних пікселів вольтова чутливість КМОН-фотоприймачів може досягати значень сотень мкВ / електрон. З урахуванням квантової ефективності значення світлової чутливості може досягати значень сотень мкВ / фотон. При подальшому вдосконаленні КМОН-фотоприймачів і використанні криогенного охолодження може бути досягнутий режим підрахунку фотонів.

Спектральна чутливість залежить від типу використовуваного напівпровідника. Так само як і в ПЗЗ в більшості випадків використовується кремній. Тому спектральна чутливість має діапазон від 0,4 до 1,1 мкм з максимумом в області 0,8 мкм. Використання технології світлодіодів та інтегральних світлофільтрів може зменшити цей діапазон до потрібної величини.

Динамічний діапазон роботи фотоприймача представляє собою відношення максимального зарядового пакета до величини сумарного шуму. При цьому максимальне значення зарядового пакета відповідає максимально можливому значенню освітленості.[8]

Так само, як і в ПЗЗ в КМОН-фотоприймачах максимальне значення зарядового пакета визначається, в основному, розміром фоточутливого елемента. Для більшості приладів це значення становить кількості тисяч електронів, в окремих випадках - понад мільйон електронів. Мінімальне значення зарядового пакета, що відповідає значенню шуму зазвичай становить кілька десятків електронів. У деяких випадках це значення можна знизити до

одиниць електронів. Таким чином, динамічний діапазон досягає значень 10000 - 1000000 ($80 \div 120$ дБ). В останньому випадку доцільно використовувати логарифмічний перетворювач, який може бути виконаний безпосередньо на кристалі прилада.

Дуже важливим параметром є частота виведення інформації. Цей параметр визначається частотою опитування пікселів, яка в КМОН-фотоприймачах досягає значень $50 \div 100$ МГц, що значно перевищує можливості ПЗЗ. Крім того, в КМОН-фотоприймачах легко організувати паралельне зчитування сигналів шляхом інтеграції на кристал фотоприймача декількох АЦП. В цьому випадку частота виведення інформації збільшується в число раз, що відповідає кількості АЦП. Теоретично, АЦП можна поставити на кожен стовпець пікселів. Є кілька приладів, у яких кількість АЦП відповідає кількості пікселів.

З тактовою частотою безпосередньо пов'язано значення кадрової частоти. Чим більше пікселів має КМОН-фотоприймач, тим менше буде частота кадрів при незмінній тактовій частоті.

Експлуатаційні характеристики КМОН-сенсорів в даний час набагато краще, ніж у ПЗЗ.

В першу чергу це пояснюється можливістю інтеграції в одному кристалі масиву фотоприймачів і здебільшого периферійних блоків, що забезпечують роботу масиву фотоприймачів. У результаті, камера на основі КМОН-фотоприймача може бути однокристальною. Відповідно, габарити і маса камер на КМОН-фотоприймачів значно менше.

КМОН-фотоприймачі значно менш вимогливі до електроживлення. Для роботи КМОН-фотоприймача зазвичай необхідний одне джерело напруги 5 або 3,3 В. Для ПЗЗ потрібно

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | МРП.171.071.003 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 56 |

кілька джерел більш високої напруги. Споживана потужність КМОН-фотоприймачів у багато разів менше, ніж у ПЗЗ.

КМОН-фотоприймачі, мають цифровий вихід, добре інтегруються в цифрові пристрої, в тому числі і малогабаритні. Зокрема, такі пристрої знайшли застосування в веб-і мережевих камерах, мобільних телефонах, КПК і багатофункціональних пристроях.

Функціональні можливості КМОН-фотоприймачів визначаються вбудованої периферією. Крім адаптації рівня освітленості з'являється можливість обмеження зони кадру. При цьому реалізується обмін числа діючих елементів фотоприймача на кадрову частоту.

Зберігається можливість використання електронного затвора. Але на відміну від ПЗЗ, в більшості КМОН-фотоприймачів реалізується рухаючийся електронний затвор, тому що зчитування сигналу з КМОН-фотоприймачів здійснюється через рядково. Час накопичення в різних рядках хоч і однаково, але зміщений. Рухомі об'єкти при цьому можуть геометрично спотворюватися.[8]

У КМОН-фотоприймач можуть бути вбудовані елементи цифрової обробки зображень, наприклад, медіанної фільтрації. Все частіше в фотоприймач вбудовується пристрій апаратного стиснення зображення, наприклад, в стандартах JPEG і JPEG2000.

1.7 Телевізійні камери на базі приладів із зарядовим зв'язком

Структурна схема телевізійної камери на ПЗЗ приведена на рис 1.25

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------|------|
| | | | | | МП.171.071.003 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 57 |

Основу камери становить матричний ПЗЗ. Як приклад розглянемо камеру стандартного дозволу на основі елементної бази фірми Sony. У камері використовується фотоприймач виробництва SONY типу ICX039 форматом 750х576 елементів.

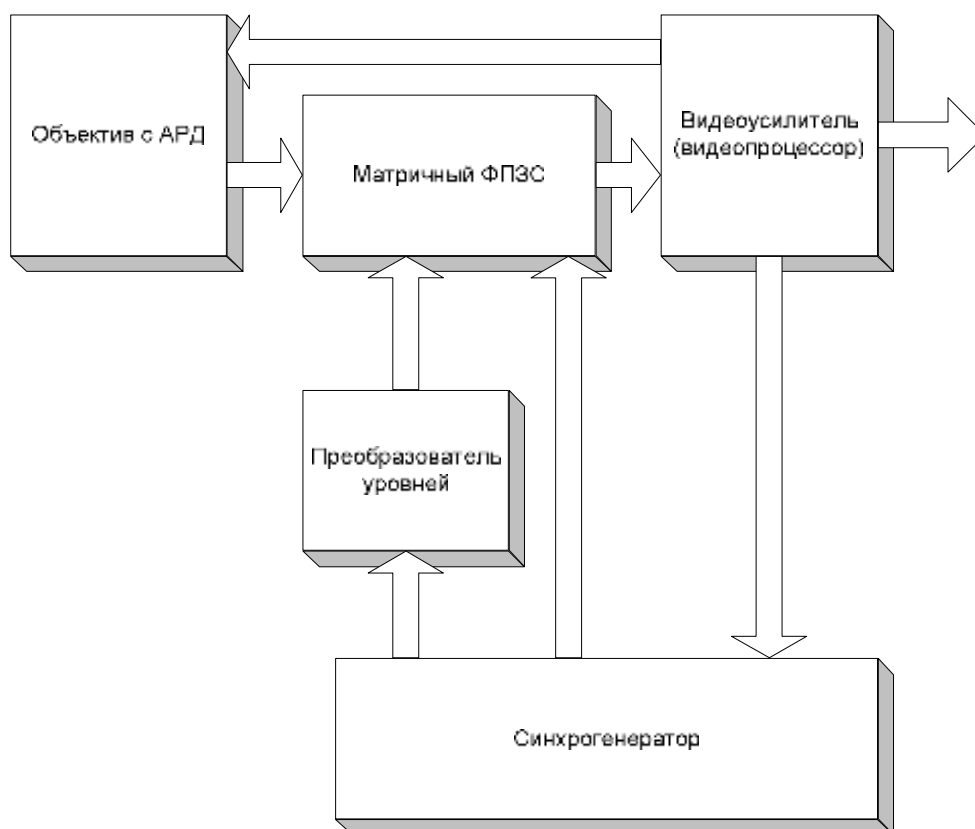


Рис 1.25 - Структурна схема камери на ПЗЗ [9]

Управляє роботою матричного фотоприймача синхрогенератор. Синхрогенератор виробляє всі необхідні для роботи ПЗЗ сигнали у вигляді послідовних імпульсів. При цьому частина сигналів з рівнями напруг КМОН (0 або 5 В) подаються безпосередньо на ПЗЗ. Але частина сигналів (електроди фаз переносу) вимагають інших рівнів напруги. Для отримання таких рівнів сигнали з синхрогенератора надходять на ПЗЗ через спеціальний перетворювач рівнів CXD1250.

Відеопроцесор СХА1310 потрібен для посилення вихідного аналогового відеосигналу з ПЗЗ, замішування в нього синхроімпульсів і виконує інші функції для отримання відеосигналу відповідно до чинного телевізійного стандарту. Крім того, відеопроцесор виконує функції управління автоматичного регулювання чутливості, використовуючи при цьому три контури управління:

- регулювання часу накопичення;
- регулювання коефіцієнта посилення відеопідсилювача;
- управління діафрагмою об'єктива (при наявності об'єктива з функцією АРД).

Структурна схема матричного ПЗЗ приведена на рис 1.26 [9]. Цей ПЗЗ має рядково-кадрову організацію, тому в його складі присутні окремі елементи накопичення, вертикальні регістри зсуву і горизонтальний регістр зсуву.

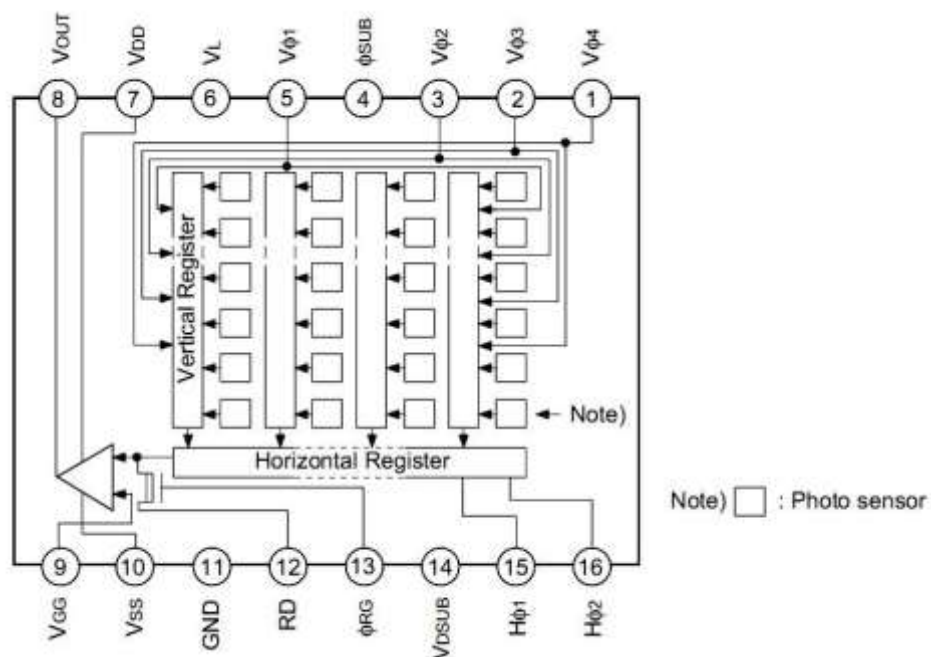


Рис 1.26 - Структура матричного ПЗЗ [9]

Відмінністю даного ПЗЗ є організація процесу переносу заряду. Перенесення зарядів у вертикальних регістрах об'єднан з перенесенням заряду з елементів накопичення. Цим процесом керують чотири фази, на які подаються сигнали управління $V\phi 1-V\phi 4$. Процес перенесення в горизонтальному зсув регістрі проводиться за двофазною схемою з використанням сигналів $H\phi 1$ і $H\phi 2$. Крім цих сигналів використовується ще окремий сигнал управління для вихідного пристрою RG (управління транзистором збросу).

Управління роботою ПЗЗ ілюструється тимчасовими діаграмами (див. Рис. 1.27) [9], на яких показаний процес формування сигналів накопичення. Вони відрізняються при формуванні непарних і парних областей. Це пояснюється тим, що в непарних і парних областях беруть участь різні елементи секції накопичення, але перенесення здійснюється одними і тими ж транспортними регістрами. [

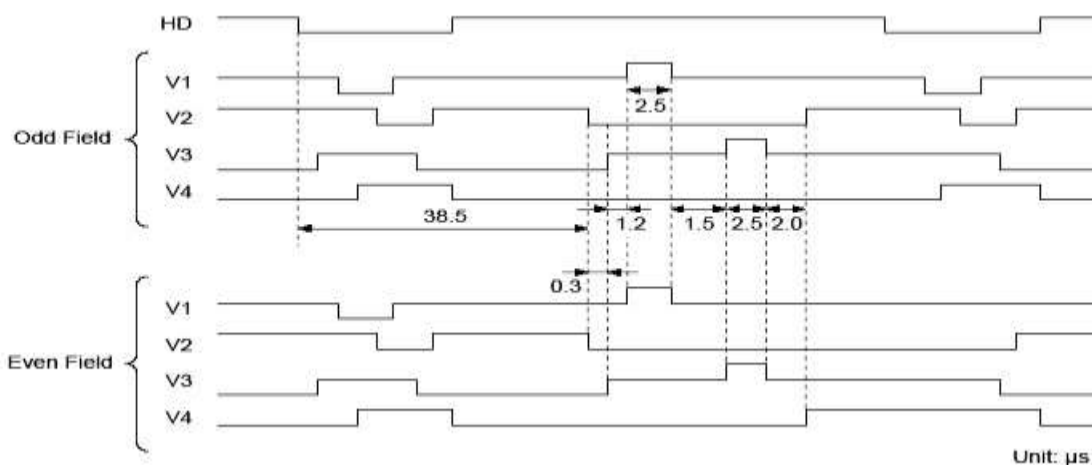


Рис 1.27 - Часові діаграми управління роботою ПЗЗ [13]

На рис 1.28 показані послідовності сигналів (перенесення непарного (рядки 1 ÷ 313) і парного (рядки 314 ÷ 625) областей), прив'язаних до кадрової частоти VD [17]. Активними сигналами для цього процесу є чотири сигнала фаз перенесення по вертикалі ($V1 \div V4$).

На рис 1.29 приведена послідовність сигналів, прив'язаних до малої частоти HD [17]. Тут присутні також сигнали фаз перенесення по вертикалі $V1 \div V4$, що збігаються по частоті з малими синхроімпульсами, але відрізняються по фазі. Крім того, присутні сигнали перенесення горизонтального транспортного регістра Н1 і Н2. Ці сигнали мають частоту в 500 раз вище, тому що використовуваний фотоприймач має 500 елементів в рядку. Крім того, присутній сигнал управління транзистором скидання вихідного пристрою RG, який по частоті збігається з сигналами фаз перенесення горизонтального регістра.

Не варто забувати, що телевізійна камера на ПЗЗ, як фотоприймач на основі внутрішнього фотоефекту, має відносно невелике відношення сигналу до шуму. Зазвичай воно не перевищує 50 дБ. Таке ставлення пояснюється порівняно невеликим значенням максимального накопиченого зарядового пакета в окремому елементі ПЗЗ і значною величиною сумарного шуму ПЗЗ, який складається з декількох складових. Отже, якщо не вживати ніяких заходів по регулюванню чутливості, динамічний діапазон роботи такого фотоприймача також невеликий. Це призвело б до того, що телевізійна камера працювала б в дуже невеликому діапазоні освітленості.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | МРП.171.071.003 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 61 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

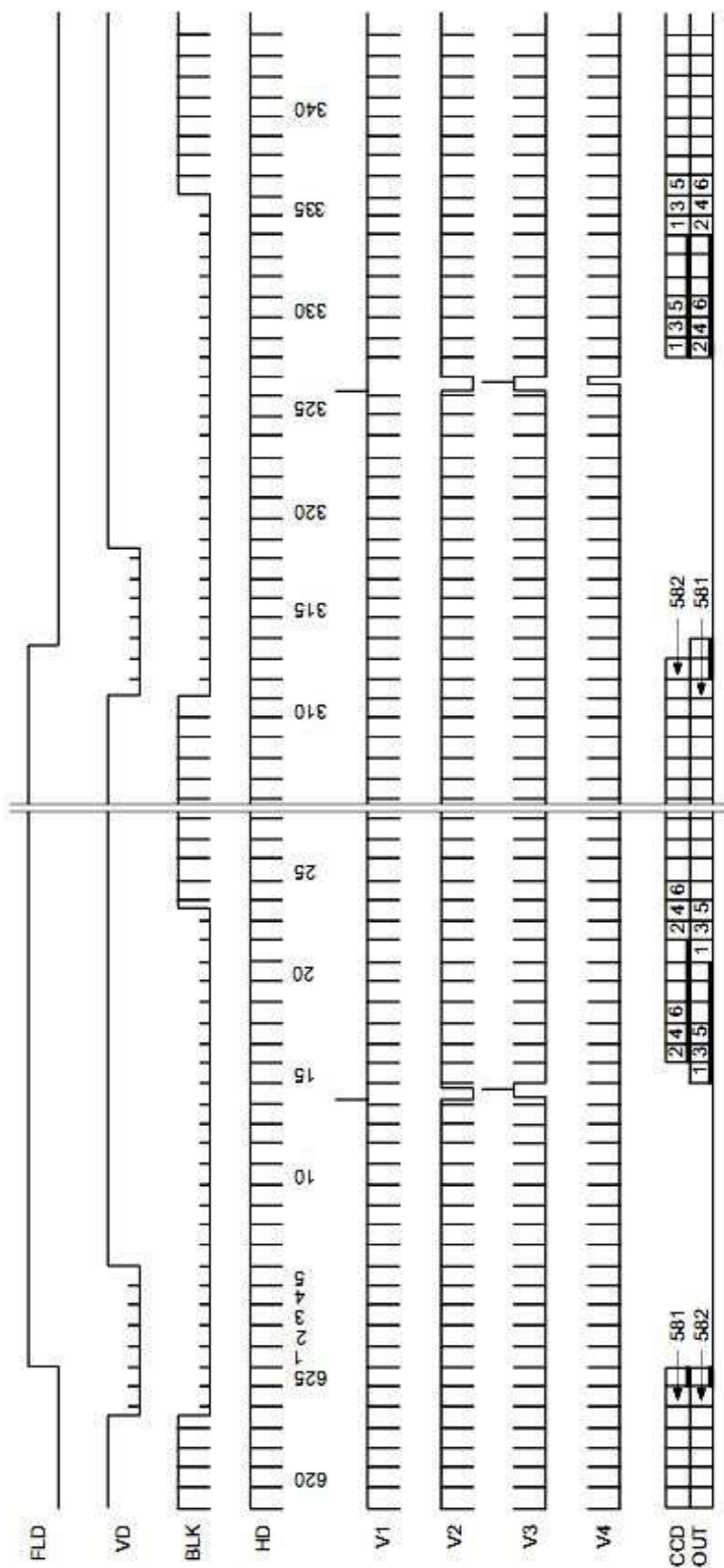


Рис 1.28 - Послідовності сигналів, прив'язаних до кадрової частоті VD [14]

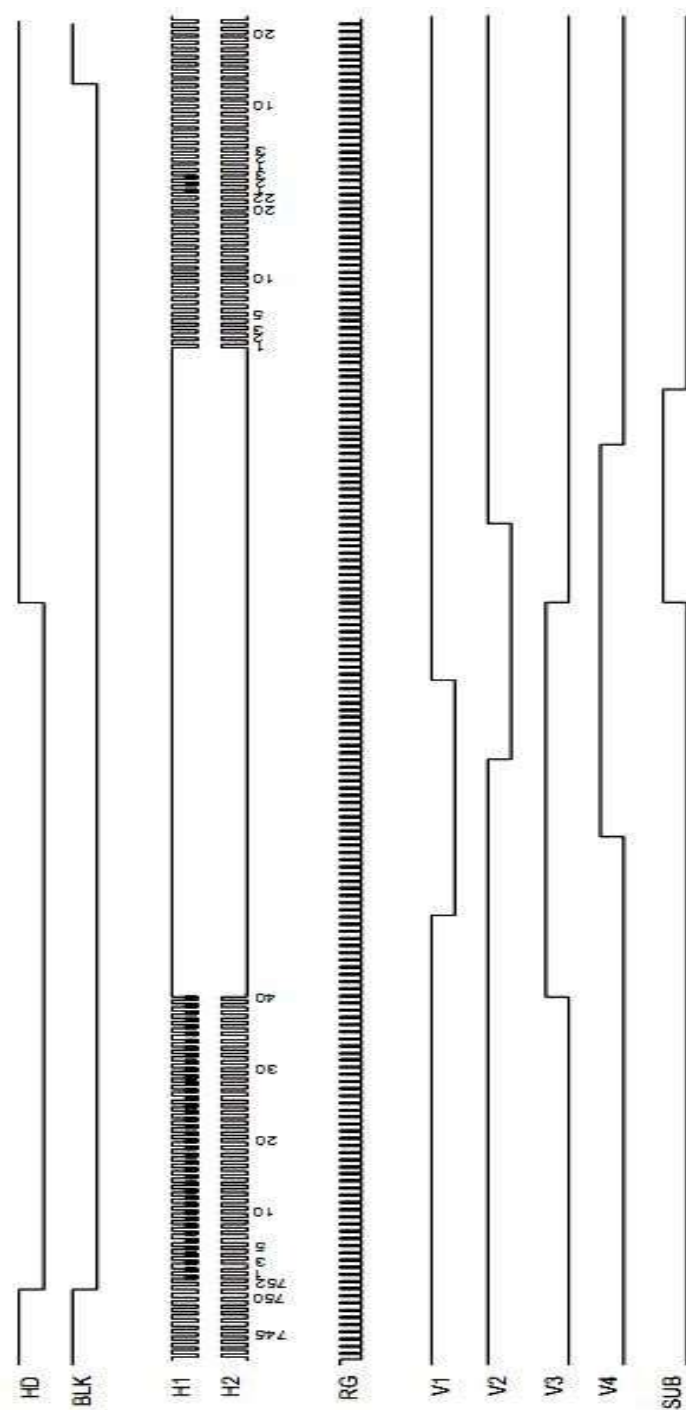


Рис 1.29 - Послідовність сигналів, прив'язаних до малої частоти HD
[14]

При виході значення освітленості за нижню межу цього діапазону відношення сигналу до шуму стало б неприпустимо малим. Якість зображення стає незадовільним при відношенні сигналу до шуму менше 10. В результаті, діапазон освітленості в нерегульованих камерах склав би близько 30 - 50.

Один з варіантів побудови камери на ПЗЗ на основі описуваних вище мікросхем наведено на рис 1.30 [14].

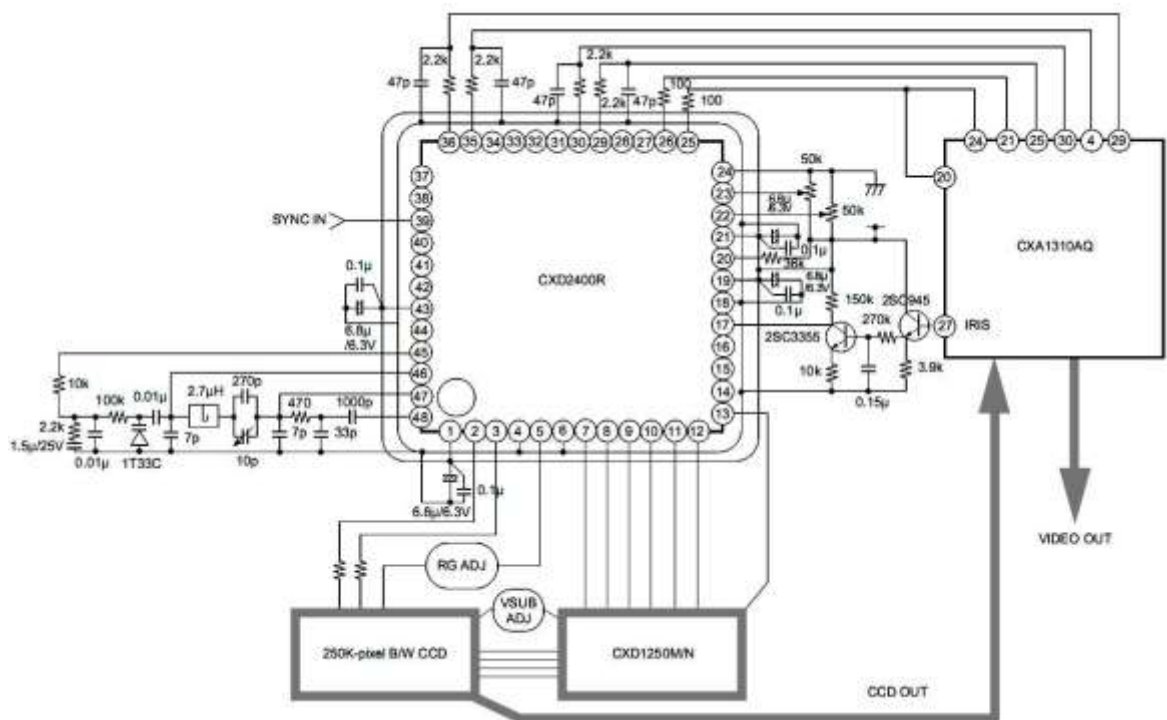


Рис 1.30 - Один з варіантів побудови камери на ПЗЗ

1.8 Телевізійні камери на компліментарній основі метал-оксид-напівпровідник

Телевізійні камери на базі матричних КМОН-фотоприймачів технічно виконати значно простіше, ніж на базі матричних ПЗЗ. На відміну від останніх, КМОН-фотоприймачі виконуються за універсальною технологією КМОН. Тому більшість елементів телевізійної камери виконані на одному кристалі разом з самим фотоприймачем. Проте, існує певна різниця в застосуванні КМОН-фотоприймачів в залежності від їх особливостей роботи.

Можливі варіанти камер на основі КМОН-фотоприймачів можуть бути наступними:

- 1) Телевізійна камера стандартного дозволу, що працює в стандартному телевізійному режимі з аналоговим виходом.
- 2) Телевізійна камера стандартного дозволу, що працює в стандартному телевізійному режимі з цифровим виходом.
- 3) Телевізійна камера з високою роздільною здатністю з цифровим виходом.
- 4) Телевізійна камера з високою роздільною здатністю з цифровим виходом і вбудованою обробкою відеосигналу.
- 5) Телевізійна камера низького дозволу.
- 6) Камерні модулі.

Але, багато зразків, що випускаються промисловістю КМОН-фотоприймачів здатні працювати в декількох режимах роботи.[12]

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | МРП.171.071.003 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 65 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

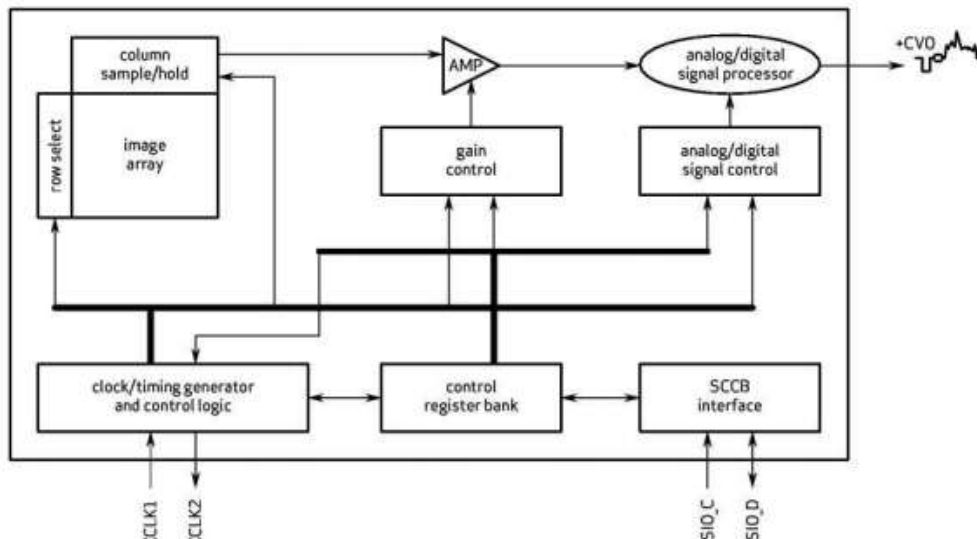


Рис 1.31 Один з варіантів побудови камери на КМОП [12]

Висновки до розділу 1

У першому розділі було розглянуто принцип роботи фотоприймачів та телевізійних камер що побудовані на їх базах. Також було досліджено роботу та принцип дії таких типів фотоприймачів:

- 1)на базі ПЗЗ
- 2)КМОП-фотоприймачі

Проаналізувавши кожний окремий тип було зроблено висновки про їх переваги та недоліки на підставі яких можна сказати що КМОП-фотоприймач що виконуються за універсальною технологією КМОН має більшу кількість переваг,у складі яких: значно менші вимоги до електроживлення,більш висока частота виведення інформації,та меншу кількість недоліків при використанні його у високочутливих телевізійних камерах.

Експлуатаційні характеристики КМОН-сенсорів значно краще ніж у їх аналогів на базі ПЗЗ,це пояснюється можливістю інтеграції в

одному кристалі масиву фотоприймачів і здебільшого периферійних блоків, що забезпечують роботу масиву фотоприймачів

Тому на підставі цих висновків, в якості пристрою що буде розроблюватися обирається телевізійна камера на базі КМОП-фотоприймача.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | МРП.171.071.003 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 67 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

2. РОЗРОБКА ТЕЛЕВІЗІЙНОЇ КАМЕРИ

2.1 Розробка та опис структурної схеми приладу

На основі проведеного в розділі 1 аналітичного огляду науково-технічної літератури по темі даного проекту, було розроблено загальну структурну схему майбутньої високочутливої телевізійної камери, яка представлена на рис 2.1.

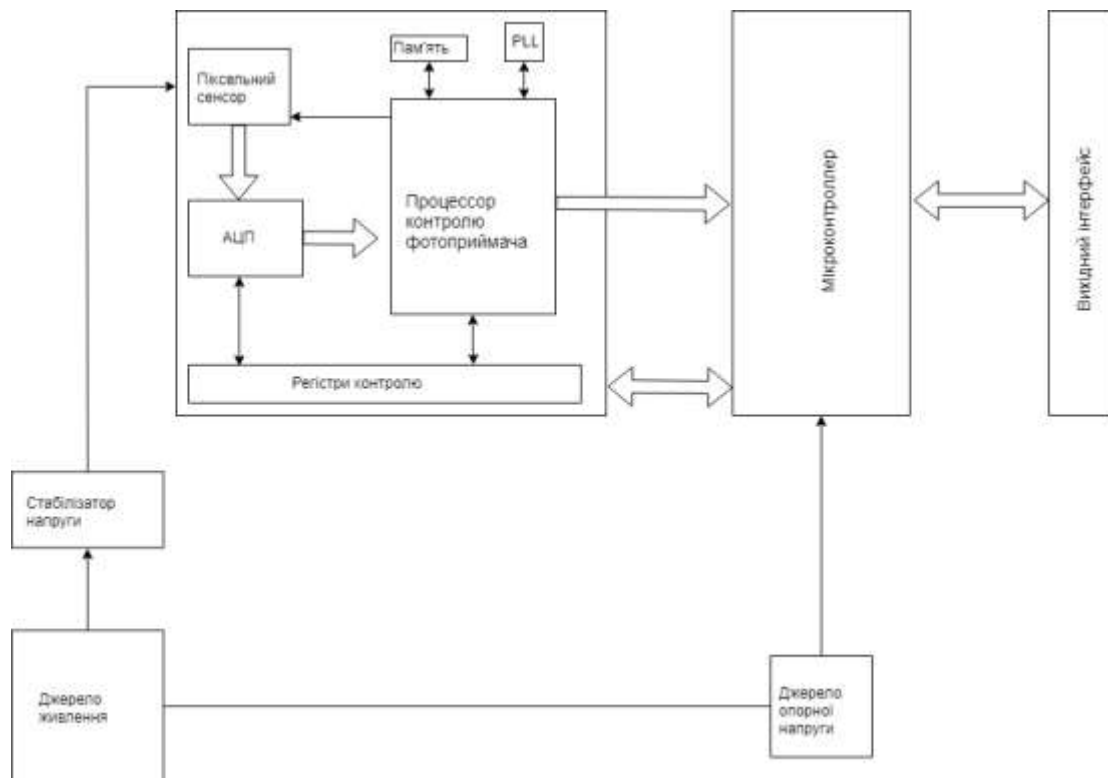


Рис 2.1 Загальна структурна схема високочутливої телевізійної камери для систем технічного зору.

Умовно блоки можна розділити на декілька функціональних частин. Перша частина це КМОН-фотоприймач який захоплює зображення, обробляє та переводить його до необхідного вихідного виду сигналу та передає його у наступний блок телевізійної камери.

Аналоговий сигнал з сенсора надходить на вбудований АЦП і далі в цифровому вигляді обробляється за допомогою вбудованого процесора контролю після чого оброблений сигнал надходить до мікроконтролерного блоку.[16]

В аналоговому вигляді виконується тільки регулювання посилення сигналу перед його надходженням на вхід вбудованого АЦП. Інша обробка проводиться в цифровому вигляді.

Обробка відеосигналу є однією з найбільш трудомістких обчислювальних операцій. Однак, вона необхідна практично в будь-якій системі, пов'язаної з формуванням і передачею зображення. З цієї причини ця задача є стандартною і виробники камер вважали за необхідне інтегрувати пристрій, що дозволяє її вирішити до складу камери.

Зазвичай під обробкою зображення мається на увазі ряд операцій, пов'язаних з перетворенням колірних систем, фільтрацією шумів і масштабуванням одержуваних зображень. На першому етапі вирішувалися саме ці завдання. Іншим завданням, пов'язаної з цифровими зображеннями і відеосигналами є завдання стиснення інформації. Зокрема, проводиться автоматичний баланс білого, повне регулювання чутливості, гамма-корекція, апертурна корекція, а також формування вихідного кольорового відеосигналу.

Другою важливою частиною схеми на рис 2.1 виступає мікроконтролер, даний блок приймає, обробляє цифровий сигнал та забезпечує виведення інформації на вихідний інтерфейс. Також мікроконтролер має можливість керування роботи фотоприймача.

Останній блок це система живлення елементів телевізійної камери, до неї входить промислове джерело живлення з параметрами - 220 В та 50 Гц, після чого за допомогою стабілізатора напруги КМОП-фотоприймач отримує необхідне живлення в 5В.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | МРП.171.071.003 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 69 |

Останнім елементом виступає джерело опорної напруги призначення якого підтримувати на виході високостабільну постійну електричну напругу, що призначена для живлення безперебойної роботи мікроконтролера який є ключовим у роботі телевізійної камери.

2.2. Схема фотоприймача

У цьому розділі розглядається електрична принципова схема телевізійної камери. Головним елементом в ній є фотоприймач.

У схемі в якості фотоприймача використовується КМОП-сенсор зображення MT9M034 фірми Aptina.

Імпульсні сигнали управління формуються мікроконтролером і надходять на сенсор через відповідні входи. Керуючі і сигнали синхронізації сигнали проходять через некеровані схеми фіксації, що забезпечують їх відповідність робочій зоні датчика. Живлення різних вузлів мікросхеми здійснюється блоком живлення з використанням стабілізатора напруги для підтримки необхідної напруги живлення схеми.[17]

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------|------|
| | | | | | МП.171.071.003 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 70 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

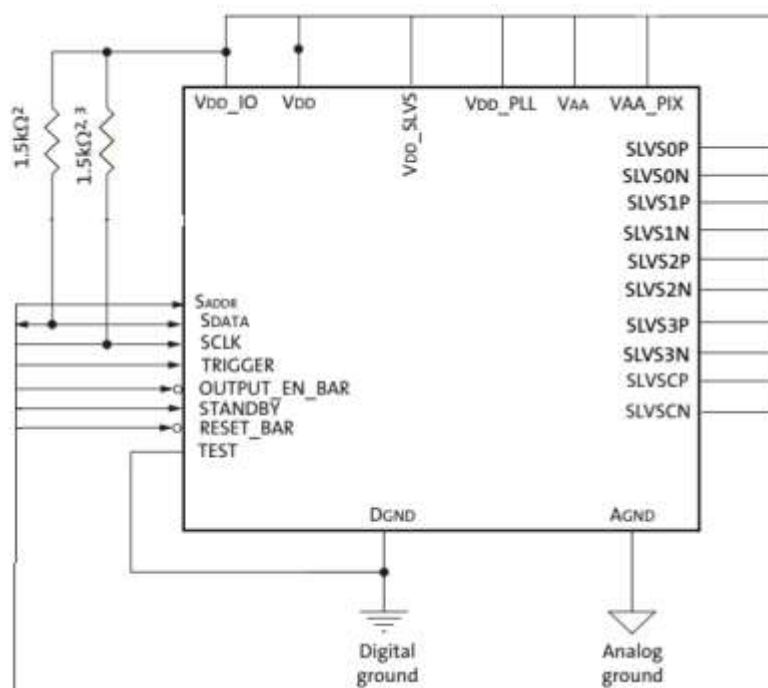


Рис 2.2 Схема КМОП-сенсора MT9M034 [17]

Розглядаючи з точки зору промисловості то MT9M034 Aptina це 1/3-дюймовий КМОП-сенсор зображення з використанням цифрового активно-пиксельного масиву 1280H x 960V. Сенсор захоплює зображення в лінійному або високому режимах динамічного діапазону. Сенсор також включає в себе складні функції камери, такі як контроль автоматичної експозиції, віконний режим ,а також кадровий та відео режим. Даний фотоприймач призначений як для низької освітленості так і для високого динамічного діапазону зйомки. Він програмується за допомогою простого двохпроводного послідовного інтерфейсу.

КМОП-сенсор MT9M034 виробляє надзвичайно чіткі, різкі, цифрові фотографії та здатен як до безперервної зйомки відео, так і до окремих кадрів, що робить його ідеальним вибором для широкого спектру зйомки, в тому числі фото-спостереження і HD-відео.

Основні параметри КМОП-сенсора:

Оптичний формат: 1/3" (6 мм)

Активні пікселі: 1280 x 960 = 1.2 Мп

Розмір пікселів: 3.75µm

Колір масиву фільтрів: RGB або монохроматичний

Тип затвору: Електронний рухомий затвір

Діапазон вхідної частоти: 6 – 50 МГц

Вихідна максимальна частота: 74.25 МГц

Вихід:

1)Послідовний: HiSPi 12-, 14-, or 20-біт

2)Паралельний: 12-біт

Частота кадрів:

1)Повний розмір: 45 fps

2)720p: 60 fps

Чутливість: 5.48 [В/лк*с]

SNRMAX :43.9 дБ

Макс. Динамічний діапазон :>115 дБ

Напруга живлення:

1)I/O :1.8 or 2.8V

2)Цифровий :1.8 V

3)Аналоговий :2.8 V

4)HiSPi :0.4V or 1.8V

Робоча температура : від –30°C до + 70° C

MT9M034 Aptina може працювати в стандартному режимі або може бути запрограмованим для роботи у режимах за розміром кадру, експозиції, посилення, та інших параметрів. Вихідні дані з сенсора за стандартом - це 960p-формат зображення зі швидкістю 45 кадрів в секунду (fps). У лінійному режимі, сенсор виводить

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | МРП.171.071.003 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 72 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

12-бітові вихідні дані. У високому динамічному діапазоні, сенсор виводить 12-розрядні стислі дані, використовуючи паралельні виходи.[17]

Пристрій може працювати в режимі відео або в режимі тригера з одним кадром. Сенсор включає додаткові функції, що дозволяють специфічну настройку: віконна обробка і зміщення, регульоване автоматичне регулювання експозиції, настройка автоматичної корекції рівня чорного а також внутрішній бортовий датчик температури. Додаткова реєстрація інформації та гістограми статистичної інформації можуть бути вбудовані в перший та останній рядки кадру зображення.

Датчик розроблений для роботи в умовах високої температури (Від -30°C до $+70^{\circ}\text{C}$).

MT9M034 - це датчик прогресивної розгортки, який генерує потік піксельних даних з постійною частотою кадрів.

Сенсор використовує фазове автопідстроювання частоти (PLL), яке дозволяє генерувати всі внутрішні такти з одиночного вхідного тактового сигналу що працює від 6 до 50 МГц

Максимальна швидкість вихідного пікселя складає 74,25 Мп / с, що відповідає тактовій частоті 74,25 МГц.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | МРП.171.071.003 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 73 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

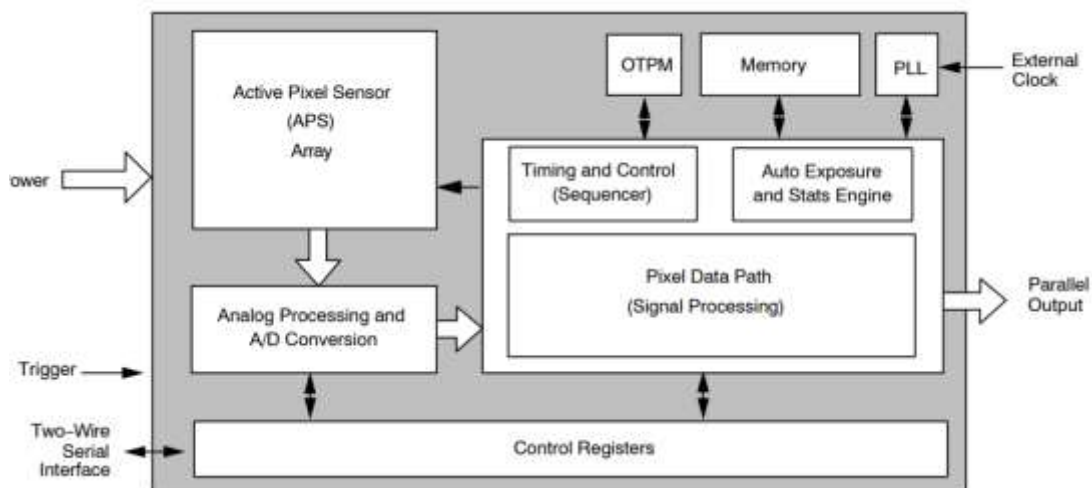


Рис 2.3 Блок-схема КМОП-сенсора.[17]

Взаємодія користувача з датчиком здійснюється через двохпровідну послідовну шину, яка зв'язується з контролем масиву, ланцюгом аналогового сигналу і ланцюгом цифрового сигналу. Ядром сенсора є матриця активних пікселів (1.2 Мр). Час та послідовності схем управляються через рядки масиву, збросу, а потім читання кожного рядка по черзі. У той же час під час інтервалу між збросом рядка та читанням цього рядка, пікселі в рядку об'єднуються в падаюче світло.

Експозиція контролюється зміною інтервалу часу між збросом та читанням. Після того, як рядок був прочитан, дані з стовпця упорядковуються по аналоговому ланцюжку сигналів (Забезпечуючи корекцію даних і посилення), а потім передаються через аналого-цифровий перетворювач (АЦП).

Вихідні дані з АЦП - це 12-бітові значення для кожного пікселя в масиві. АЦП-вихід проходить через ланцюжок цифрових сигналів обробки (який забезпечує додаткову фільтрацію даних шляхом передачі даних і застосовує цифрове посилення). Сенсор також пропонує високий динамічний діапазон режиму роботи, в якому

об'єднані кілька зображень для створення одного зображення з 20-бітовим значенням на піксель.

Далі пропонується режим стиснення, що дозволяє використовувати це 20-розрядне значення пікселя, яке повинно бути передано хост-системі у вигляді 12-розрядної з близькими до нуля втратами в якості зображення. Дані пікселя виводяться зі швидкістю до 74,25 Мп / с, паралельно кадру і сигнали синхронізації лінії.[17]

Матриця МТ9М034 налаштована як 1412 стовпців на 1028 рядків (див. Рис. 2.4). Темні пікселі оптично чорні і використовуються для контролю рівня чорного. З правих 100 стовпців, 64 темних пікселя, використовуються для корекції шуму рядків. З верхніх 24 рядків пікселів, 12 темних рядків пікселів, використовуються для корекції рівня чорного. Також сенсор має 1296 стовпців на 976 рядків оптично активних пікселів. Хоча сенсор використовує формат 1280 x 960, додаткові активні стовпці і активні рядки включені для використання, коли використовуються горизонтальні або вертикальні дзеркальні зчитування, щоб дозволити зчитуванню починатися з того ж пікселя. Налаштування пікселя завжди виконується для чорно-білої та кольорової версій. Активна область оточена оптично прозорими фіктивними пікселями для поліпшення однорідності зображення в активній області. Не всі фіктивні пікселі або пікселі бар'єру можуть бути зчитані.[17]

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | МРП.171.071.003 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 75 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

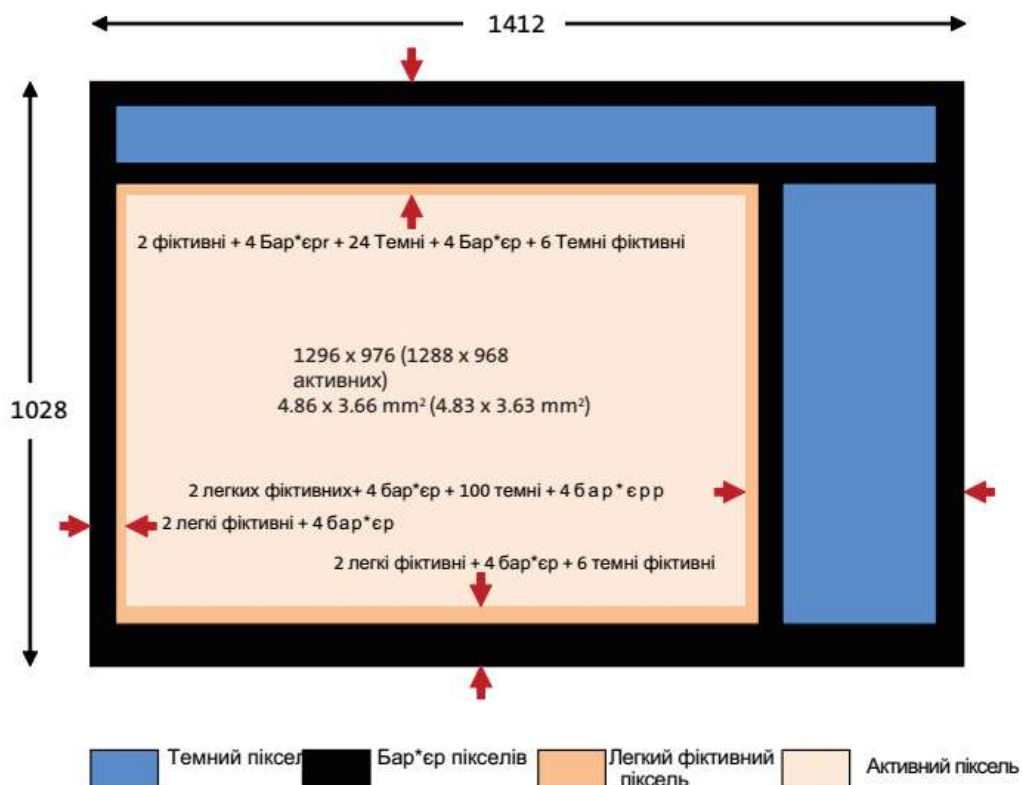


Рис 2.4 Опис піксельної матриці сенсора



Рис 2.5 Опис кольорового пікселя

За стандартом матриця пікселів ядра сенсора показана з (0,0) у верхньому правому куті (див. Рис. 2.5). це відображає фактичне

розташування масиву пікселів на матриці. Крім того, перший піксель даних, зчитуваних з сенсора, - це значення пікселя (112, 44). Коли сенсор передає дані зображення, активна поверхня сенсору звертається до сцени, як показано на малюнку 6. Коли зображення зчитується з сенсора, пікселі даних зчитуються по одному рядку за раз, за кількістю рядків і стовпців, як показано на малюнку 2.6.

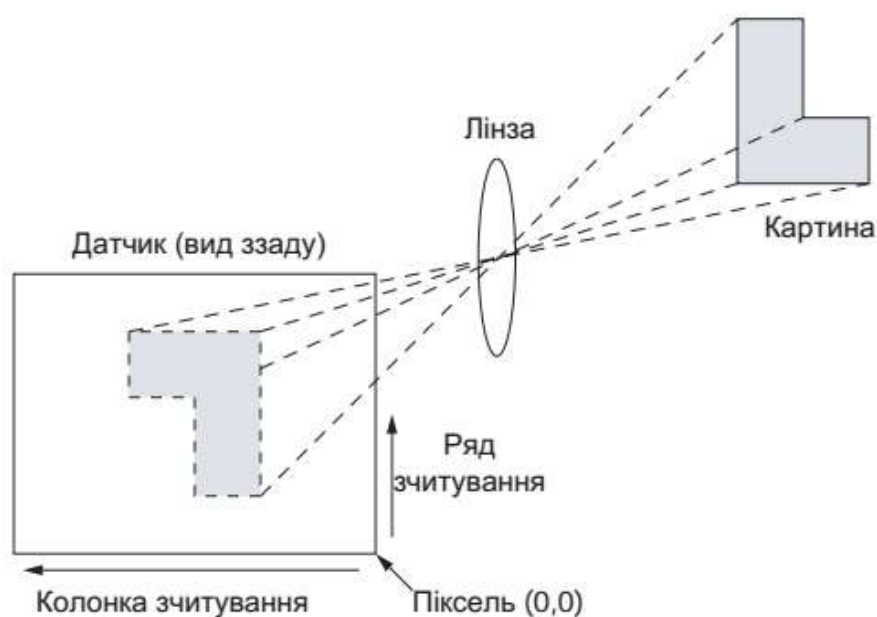


Рис 2.6 Зчитування даних зображення сенсором

Сенсор MT9M034 підтримує чотири цифрових коефіцієнта посилення для кольорових каналів: Red, Green1 (зелені пікселі на червоних рядках), Green2 (зелені пікселі в синіх рядках) і Blue. Цифровий контроль посилення MT9M034 залежить від конфігурації регістра `x_addr_start`. Дані зображення MT9M034 зчитуються в прогресивному режимі сканування. Дійсні дані зображення оточені горизонтальних і вертикальних гасінням (див. Рис. 2.7). Сума горизонтального часу ряду (в годинах) програмується через `R0x300C`.

Сума вертикального часу кадру (в рядках) програмується через R0x300A. Додатково, вбудована інформаційна реєстраційна установка та гістограма статистичної інформації, що доступна в перших двох та останньому рядку даних зображення.

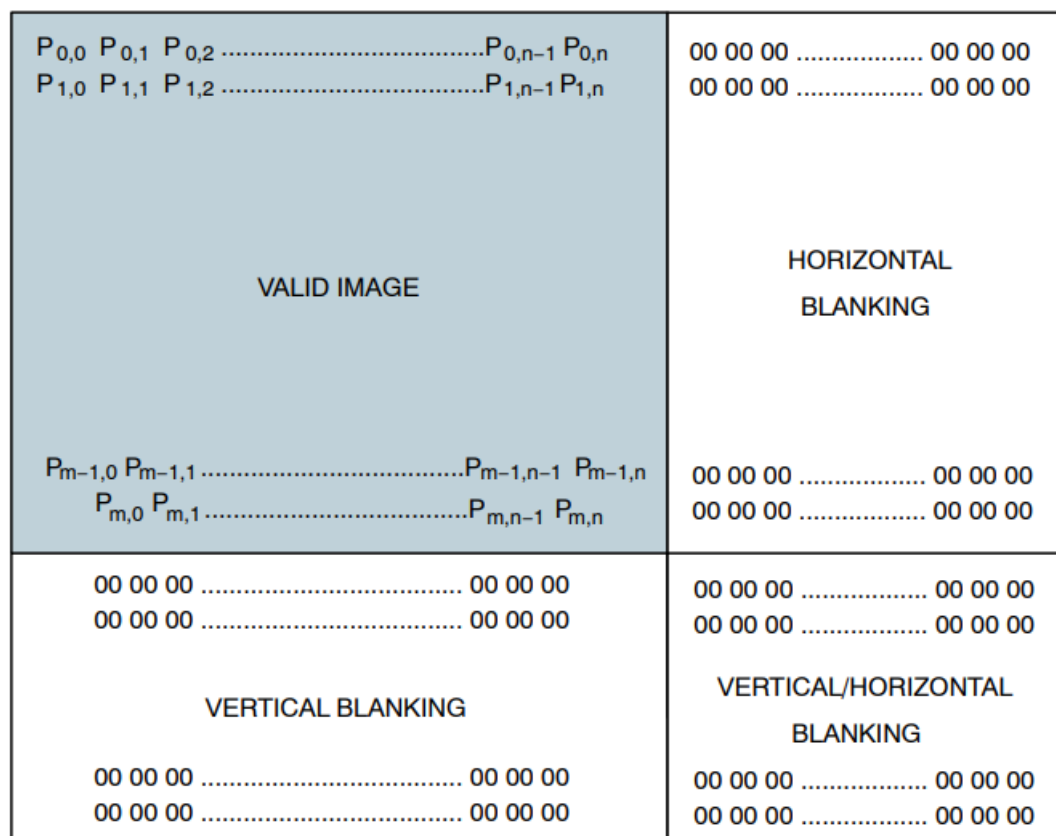


Рис2.7 Просторова ілюстрація зчитування зображення [17]

Як правило, вікно зчитування встановлюється в область, що включає тільки активні пікселі. Користувач має можливість зчитати темні області масиву, розглянемо як датчик зчитує темні області для його власних цілей. Вихідні зображення діляться на фрейми, які

далі розділених на лінії. За замовчуванням датчик виробляє 968 рядків по 1284 стовпця кожен. Сигнали FV і LV вказують кордони між рамками і лініями, відповідно. PIXCLK можна використовувати в якості годинника для фіксації даних. Для кожного циклу PIXCLK щодо падіння, один 12-бітний піксельний вивід даних на виводах DOUT. Коли затверджені як FV, так і LV, піксель дійсний.

Цикли PIXCLK, що виникають при скасуванні FV, називаються вертикальними гасіннями. Цикли PIXCLK, що виникають, коли тільки LV скасовується, називаються горизонтальними гасіннями.

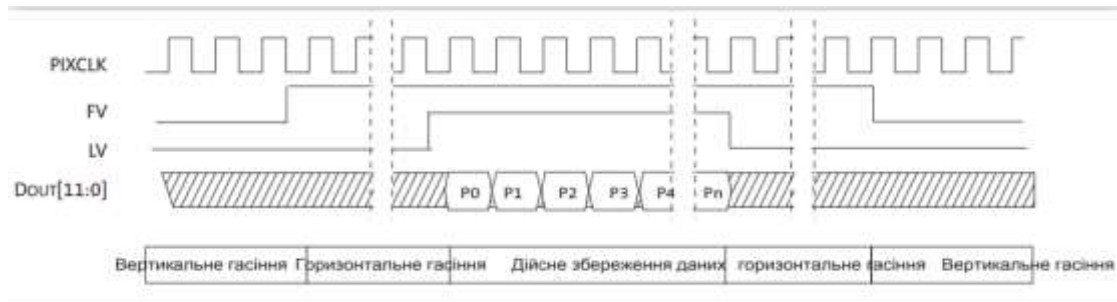


Рис 2.8 Синхронізація вхідного пікселя [17]

Терміни FV і LV виходів тісно пов'язані з часом рядку і часом кадру. FV затверджується для цілого числа раз поспіль, що, як правило, дорівнює висоті вихідного зображення.

LV затверджується при дійсних пікселях кожного рядка. Передній край LV буде зміщений від передньої кромки FV на 6 PIXCLKs. Зазвичай, LV буде стверджувати тільки, якщо FV затверджується; це налаштовується, як описано нижче.

Параметри формату LV

За замовчуванням ситуація для LV повинна бути скасована, якщо FV скасовується. Шляхом настройки R0x306E [1: 0], сигнал LV може приймати два різних формату виводу даних. Формати для зчитування чотирьох рядків і двох вертикальних ліній гасіння показані на рис 2.9

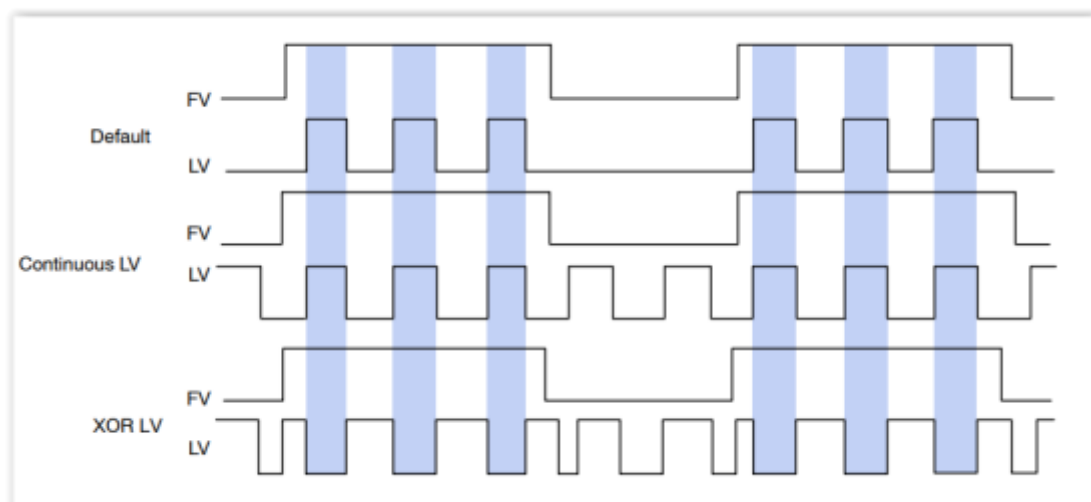


Рис 2.9 Формат LV

MT9M034 також використовує високошвидкісний інтерфейс послідовного виводу даних (HiSPi). Фізичний інтерфейс містить диференціальні послідовні лінії даних і диференційний годинник лінії. Шар протоколу форматує дані і сигнали синхронізації окремо, з кодами синхронізації визначених для активних кордонів зображення. Малюнок 2.10 показує конфігурацію між передавачем HiSPi і приймачем. Є два варіанти для HiSPi вихідного KPH або режимі HiVCM вибрати через регістр 0x306E біт 9. Установка цього біта в 0 вибирає KPH; установкою біта в 1 вибирає HiVCM.

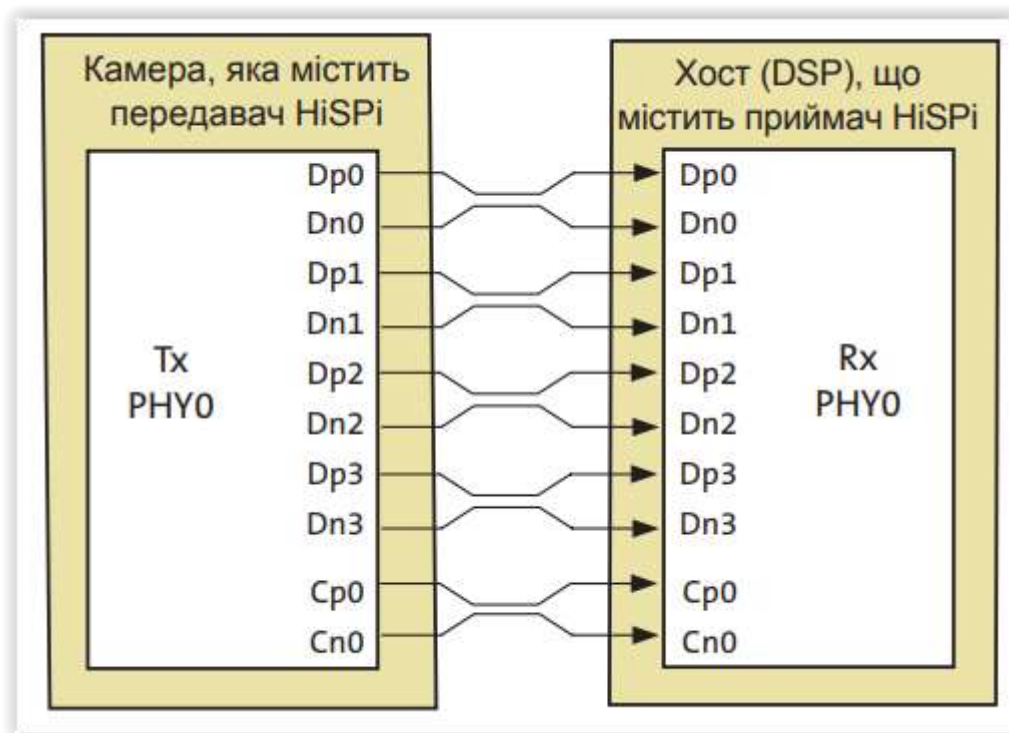


Рис3.9 Блок-схема інтерфейсу HiSPi

Фізичний рівень HiSPi має чотири смуги руху даних і пов'язану з ними тактову смугу. Залежно від швидкості робочого режиму сенсора і даних, він може бути налаштований на використання або 2, 3, або 4 смуги.

2.3 Схема мікроконтролера

Расположение выводов

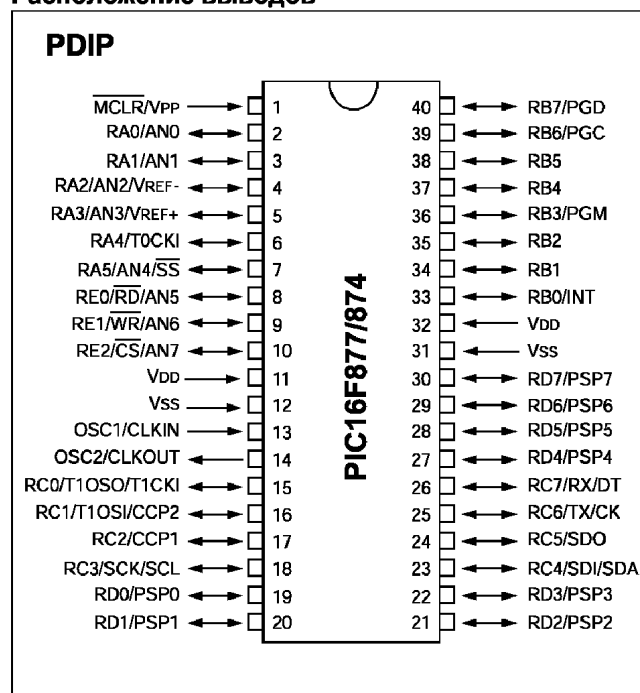


Рис. 2.3 Схема мікроконтролера PIC16F877

Для реалізації пристрою був обраний PIC16F877, в корпусі PDIP. Основними чинниками при виборі контролера були: вартість і достатня кількість ліній вводу-виводу.[18]

Характеристика мікроконтролера:

- Високошвидкісна RISC архітектура
- 35 Інструкцій
- Всі команди виконуються за один цикл, крім інструкцій переходів, що виконуються за два цикли
- Тактова частота:
 - DC - 20МГц, тактовий сигнал
 - DC - 200нс, один машинний цикл
- До 8к x 14 слів FLASH пам'яті програм
- До 368 x 8 байт пам'яті даних (ОЗП)

- До 256 x 8 байт EEPROM пам'яті даних
- Сумісність по виводам з PIC16C73B/74B/76/77
- Система преривань (до 14 джерел)
- 8-рівневий апаратний стек
- Прямий, непрямий і відносний режим адресації
- Скидання по включенню живлення (POR)
- Таймер скидання (PWRT) і таймер очікування запуску генератора (OST) після включення живлення
- Сторожовий таймер WDT з власним RC генератором
- Програмований захист пам'яті програм
- Програмований захист пам'яті програм
- Вибір параметрів тактового генератора
- Високошвидкісна, енергозберігаюча CMOS FLASH/EEPROM технологія
- Повністю статична архітектура
- Програмування в готовому пристрої (використовується два вивода мікроконтролера)
- Низьковольтний режим програмування
- Режим внутрішньосхемного налагодження (використовується два вивода мікроконтролера)
- Широкий діапазон напруг живлення від 2.0 до 5.5 В
- Підвищена навантажувальна здатність портів введення/виводу (25 мА)
- Мале енергоспоживання:
 - < 0.6 мА @ 3.0 В, 4.0 МГц
 - 20 мкА @ 3.0 В, 32 кГц
 - < 1 мкА в режимі енергозбереження

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------|------|
| | | | | | МП.171.071.003 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 83 |

Характеристика периферійних модулів:

- Таймер 0: 8-розрядний таймер/лічильник з 8-розрядним програмованим інтерфейсом
- Таймер 1: 16-розрядний таймер/лічильник з можливістю підключення зовнішнього резонатора
- Таймер 2: 8-розрядний таймер/лічильник з 8-розрядним програмованим переддільником і вихідним дільником
- Два модуля порівняння/захоплення/ШИМ (PCP):
 - 16-розрядне захоплення (макс. роздільна здатність 12.5 нс)
 - 16-розрядне порівняння (макс. роздільна здатність 200 нс)
 - 10-розрядний ШИМ
- Багатоканальне 10-розрядний АЦП
- Послідовний синхронний порт MSSP
 - ведучий/ведений режим SPI
 - ведучий/ведений режим I2C
- Послідовний синхронно-асинхронний приймач USART з підтримкою детектування адресу.
- 8-розрядний паралельний порт PSP з підтримкою зовнішніх сигналів -RD, -WR, -CS [18]

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | МРП.171.071.003 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 84 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

2.4 Схема стабілізатора напруги та джерела опорної напруги

2.4.1 Стабілізатор напруги

Для розроблюваної телевізійної камери потрібен потужний стабілізатор напруги, що виконує функцію подавання необхідної напруги живлення на сенсор.

Була вибрана модель КР142ЕН5А. Мікросхема представляє собою 3-х контактний стабілізатор, маючий на виході постійну та фіксовану напругу в 5В.[19]

Основні характеристики КР142ЕН5А:

Вихідна напруга: 5В

Вихідний струм: 2 А

Максимальна вхідна напруга: 15 В

Разність напруги вхід-вихід: 2,5 В

Потужність розсіювання : 10 Вт

Точність вихідної напруги: 0,05 В

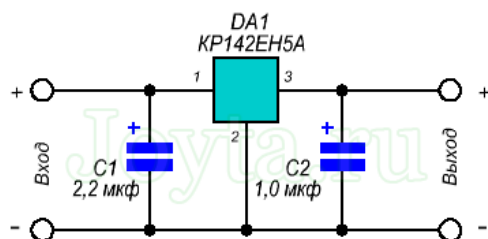


Рис 2.11 Схема стабілізатора КР142ЕН5А

Має вбудований захист від короткого замикання, захист від перевантажень по струму і від перегріву кристала. Містить 39 інтегральних елементів.

Для мікросхеми КР142ЕН5А ємність вхідного конденсатора С1 повинна бути не менше 2,2 мкф для керамічних або оксидних танталових і не менш 10 мкФ - для алюмінієвих оксидних конденсаторів, а вихідного конденсатора С2 - не менше 1 і 10 мкФ відповідно. Роль вхідного може виконувати конденсатор фільтра, що згладжує, якщо він розташований не далі 70 мм від мікросхеми.

2.4.2 Джерело опорної напруги

Для розроблюваної телевізійної камери необхідне джерело опорної напруги, який використовується для стабілізування вхідної напруги та подачі необхідного живлення на мікроконтроллер .

Мікросхема TL431 - це трьох вихідні регулятори шунта із заданою температурної стабілізацією - що підходять для температурних діапазонів застосування. Вихідна напруга може бути задана будь-яким значенням від V_{ref} (приблизно 2,5 V) до 36 V за допомогою двох зовнішніх резисторів (див. Рис. 2.12). Ці чіпи мають типовий імпеданс 0,2W. Мікросхема TL431 призначена для роботи при температурах від -40 ° C до + 125 ° C.[20]

Технічні характеристики TL431:

Регульована вихідну напруга: від 2.5 В до 36 В

Навантажувальний струм: від 1 мА до 100 мА

Повний вихідний опір: 0.22 Ом

Відхилення точності вихідної напруги 1% або 2%

Температурний діапазон: від - 40 ° C до +125 ° C

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | МРП.171.071.003 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 86 |

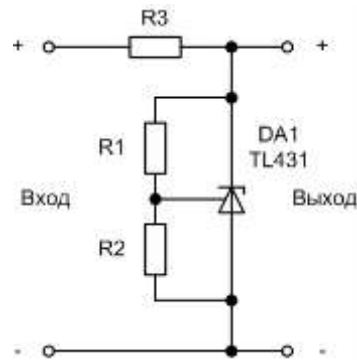


Рис.2.11 Схема TL431

Для завдання напруги стабілізації використовуються два резистора R1 і R2, що мають опір при якому напруга на TL431 визначається за формулою:

$$U_{\text{вих}} = V_{\text{ref}} (1 + R1 / R2),$$

де V_{ref} - опорна напруга

Виходить чим більше співвідношення R1 до R2, тим більше вихідна напруга. Мікросхема фактично стабілізує напругу на своєму вході на рівні 2,5 В.

Висновки до розділу 2

Розроблена електрична принципова схема представлена в додатку А. За допомогою роз'єму X2 на схему здійснюється подача живлення від зовнішнього промислового джерела живлення.

За допомогою стабілізатора DA2 (KP142EH5A) виходить напруга в 4,8 В, яка живить КМОП-сенсор (MT9M034). У ланцюг живлення встановлені конденсатори для згладжування шумів. У центрі розташований мікроконтролер PIC16F877, який приймає сигнал з КМОП-сенсора через HiSPi-інтерфейс. Для живлення мікроконтролера також використовується джерело опорного

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------|------|
| | | | | | МП.171.071.003 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 87 |

напруги DA1 (TL431), що має на виході 2,5 В. Кінцевий результат 8-ми розрядним паралельним кодом виводиться через вихідний інтерфейс X3 на зовнішню систему керування телевізійною камерою.

3. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

В розділі представлено розрахунок характеристик та параметрів КМОН-сенсора що використовується у даній високочутливій телевізійній камері .

Параметри оптичного сигналу в загальному вигляді можна представити як амплітудні та просторові. Амплітудна складова враховує: освітленість об'єкта, довжину хвилі випромінювання джерела освітлення, квантову ефективність, час накопичення фотонів та ін. Просторова складова враховує просторово частотну фільтрацію, яка обумовлюється кінцевими розмірами пікселя та матриці сенсора зображення, а також неоднорідністю розподілу світла.

Також проведено розрахунок системи вихідних параметрів, для цього використовуються конструктивні параметри, паспортні дані, а також параметри, що характеризують обраний метод перетворення сигналу. В загальному вигляді модель проходження сигналу через пікселя сенсора зображення, що враховує його амплітудні та просторово-частотні характеристики має вигляд



Рис.3.1. Модель проходження сигналу через сенсор зображення

Твердотільний сенсор зображення це система з розподіленими параметрами, тобто на вихідний сигнал впливають, як амплітудні так просторово частотні параметри. Спочатку розраховується модель амплітудно частотних характеристик.[21]

3.1 Розрахунок падіння напруги на пікселі у фотоприймачі

Для телевізійної системи з використанням КМОН-сенсора розрахунок амплітудно-частотних характеристик це фактично розрахунок реакції сенсора зображення на вхідні дані , для подальшого дослідження його як частини системи технічного зору.

У якості вихідного сигналу беремо напругу отриману з одного пікселя при опроміненні його потоком фотонів.

У стандарті EMVA 1288 до складання документації до твердотільних сенсорів зображення та проведення вимірювань вказаний параметр-повне підсилення системи, що в документації до сенсорів також вказується як підсилення перетворення (conversion gain) G , визначається за формулою

$$G = \frac{q}{C}, \quad (3.1)$$

де q – заряд електрона; C – ємність фотодіода або ж потенційної ями.

Підсилення перетворення це відношення, що визначає падіння напруги при генеруванні пікселем одного заряду, тобто скільки вольт доводиться на один електрон.

Для того, щоб визначити повне падіння напруги на пікселі, а не лише від одного фотона необхідно помножити G на кількість згенерованих електронів.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | МРП.171.071.003 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 89 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$U = G\mu_e = \frac{q}{C}\mu_e \quad (3.2)$$

В загальному вигляді процес формування вихідного сигналу з пікселя можна представити так : фотони що потрапляють на площу пікселя накопичуються за час експозиції і за рахунок внутрішнього фотоефекту генерують електрони , зменшують падіння напруги на фотодіоді у випадку КМОН. Слід зауважити, що не кожен фотон, що потрапляє на поверхню пікселя генерує електрон. Ця невідповідність визначається коефіцієнтом квантової ефективності.

Оскільки кількість фотонів, що попадають на поверхню пікселя це випадкова величина тому середню кількість фотонів що досягли поверхні пікселя оцінюємо через математичне очікування. Відповідно і кількість електронів і вихідний сигнал, рівень сірого, оцінюємо через математичне очікування.

$$\eta(\lambda) = \frac{\mu_e}{\mu_p} \quad (3.3)$$

Повний квантовий вихід, як було вже визначено відноситься до повної площі сенсора, а не лише його світлочутливої зони. Відповідно, цей вираз включає в себе і такі, параметри, як коефіцієнту заповнення та мікролінз. Відповідно до прийнятих припущень квантовий є функцією довжини хвилі фотонів опромінюючих піксель.

$$U = G\mu_e = \frac{q}{C}\eta\mu_e \quad (3.4)$$

Математичне очікування кількості фотонів, що потрапляє на поверхню пікселя протягом часу експозиції t_{exp} може бути вираховане з енергії опромінюючої поверхню сенсора E (Вт/м²), використовуючи квантування енергії електромагнітного випромінювання на одиниці енергії $h\nu$ отримаємо:

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | МРП.171.071.003 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 90 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$\mu_p = \frac{AEt_{\text{exp}}}{h\nu} = \frac{AEt_{\text{exp}}}{hc / \lambda}, \quad (3.5)$$

Знаючи швидкість світла $c = 2,99792458 \cdot 10^8$ м/с, та сталу Планка $h = 6,6260755 \cdot 10^{-34}$ Дж·с.

$$\mu_p[\text{фотони}] = 5,034 \cdot 10^{24} \cdot A[\text{м}^2] \cdot t_{\text{exp}}[\text{с}] \cdot \lambda[\text{м}] \cdot E\left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}\right] \quad (3.6)$$

можна також виразити у більш зручних одиницях для сенсорів зображення:

$$\mu_p[\text{фотони}] = 50,34 \cdot A[\text{мм}^2] \cdot t_{\text{exp}}[\text{мс}] \cdot \lambda[\text{мм}] \cdot E\left[\frac{\text{мкВт}}{\text{см}^2}\right] \quad (3.7)$$

Середній сигнал на виході включає в себе не тільки корисну складову, а також і паразитну.

Тоді наруга зміщення на пікселі:

$$U = G(\mu_e + \mu_d) = \frac{q}{C} \eta(\mu_e + \mu_d) = \frac{q}{C} \eta \mu_y \quad (3.8)$$

Де μ_y - математичне очікування вихідного сигналу; μ_d - середня кількість електронів, що присутні у сенсорі без наявності світла.

В результаті перемноження середньої кількості темнових електронів на коефіцієнт підсилення отримуємо середнє значення темнового струму :

$$\mu_{y,\text{dark}} = G\mu_d, \quad (3.9)$$

Але слід враховувати, що значення темнового струму не постійна величина. Головна причина виникнення темнового сигналу це термоіндуковані електрони. Як наслідок, темновий сигнал має зростати лінійно з часом експозиції [21]

$$\mu_d = \mu_{d.0} + \mu_{therm} = \mu_{d.0} + \mu_I t_{exp}. \quad (3.10)$$

де μ_I - математичне очікування кількості термоіндукованих електронів за 1 секунду;

Оскільки $\mu_I t_{exp} \gg \mu_{d.0}$, то нехтуємо $\mu_{d.0}$.

Враховуючи рівняння (5), (8), (9), (10) отримуємо кінцеве рівняння розрахунку повного падіння напруги на пікселі:

$$U = G(\mu_d + \mu_e) = \mu_{y.dark} + G\eta \frac{AE t_{exp}}{hc / \lambda}; \quad (3.11)$$

3.2 Розрахунок квантової ефективності

Для розрахунку квантової ефективності КМОН-сенсора розглядається декілька величин: фотометрична чутливість (sensitivity) $[B \cdot m^2 / Bt \cdot c], [B / лк \cdot c]$ або ж радіометрична чутливість (responsivity) $[A / Bt]$.

Чутливість - відгук пікселя на одиницю енергії падаючого випромінювання.

Для визначення чутливості, виробники КМОН-сенсорів використовують радіометричні та фотометричні одиниці.

Фотометрія це наука вимірювання видимого світла в одиницях світлової величини. Світлова величина - редукована фотометрична величина, утворена з енергетичної фотометричної величини за допомогою відносної спектральної чутливості спеціального виду - відносної спектральної світлової ефективності монохроматичного випромінювання для денного зору.[21]

Радіометрія це наука тісно пов'язана з фотометрією. Вона описує вимірювання оптичного випромінювання з фізичної точки зору, визначається в одиницях ватт і джоулях. Основною відмінністю

між радіометрією і фотометрією, окрім одиниць вимірювання, є те що радіометрія включає в себе весь спектр оптичного випромінювання, в той час як фотометрія обмежується видимою областю спектру.

Радіометричні одиниці можна перевести в фотометричні одиниці і навпаки, нижче будуть наведені операції переведу.

Спочатку визначимо співвідношення між чутливістю в $[В \cdot м^2 / Вт \cdot с]$ та $[А / Вт]$:

Фотострум у пікселі:

$$I = \frac{N_e \cdot q}{t_{\text{exp}}} [A] \quad (3.12)$$

де N_e - кількість згенерованих електронів;

$$N_e = \frac{I \cdot t_{\text{exp}}}{q} \quad (3.13)$$

Енергія випромінювання:

$$E1 = P \cdot t_{\text{exp}} \cdot \frac{1}{A} [Дж / мкм^2]$$

або

$$E1[Дж / мкм^2] = E[Вт / м^2] \cdot t_{\text{exp}}[с] \cdot 10^6 \quad (3.14)$$

де P - світловий потік на площу пікселя[Вт]

Тоді:

$$R1 = \frac{N_e \cdot G}{E1} = \frac{\frac{I \cdot t_{\text{exp}}}{q} \cdot G}{P \cdot t_{\text{exp}} \cdot \frac{1}{A}} = \frac{I \cdot t_{\text{exp}}}{q} \cdot \frac{G \cdot A}{P \cdot t_{\text{exp}}} = \frac{I}{P} \cdot \frac{G \cdot A}{q} \quad (3.15)$$

де $R1$ - чутливість $[мкВ \cdot мкм^2 / Вт \cdot с]$;

З чого витікає, що :

$$R1 \left(\frac{В}{мкДж / см^2} \right) = R2 \left(\frac{А}{Вт} \right) \cdot \frac{G \cdot A}{q} \cdot 10^{-20} = R2 \left(\frac{А}{Вт} \right) \cdot \frac{G \cdot A}{16.1} \quad (3.16)$$

де $R2$ -чутливість $[А / Вт]$.

Тепер можна виразити чутливість $R2$ через квантову ефективність:

$R2 = \frac{I}{P}$, тобто чутливість [А/Вт] це відношення фотоструму до енергії падаючого випромінювання.

Тоді:

$$R2 = \frac{\frac{N_e \cdot q}{t_{\text{exp}}}}{N_p \cdot \frac{hc}{\lambda \cdot 10^{-9}} \cdot \frac{1}{t_{\text{exp}}}} \quad (3.17)$$

Це приводить нас виразу:

$$R2 \left[\frac{A}{Bm} \right] = \eta \cdot \lambda [nm] \cdot \frac{q \cdot 10^{-9}}{hc} = \eta \cdot \lambda [nm] \cdot 8.1 \cdot 10^{-4} \quad (3.18)$$

$$\begin{aligned} R1 \left[\frac{B}{\text{мкДж} / \text{см}^2} \right] &= R2 \left[\frac{A}{Bm} \right] \cdot \frac{G \cdot A}{q} \cdot 10^{-20} = \eta \cdot \lambda [nm] \cdot \frac{q \cdot 10^{-9}}{hc} \cdot \frac{G \cdot A}{q} \cdot 10^{-20} = \eta \cdot \lambda [nm] \cdot \frac{10^{-9}}{hc} \cdot \frac{G \cdot A}{1} \cdot 10^{-20} = \\ &= 5,034 \cdot 10^{-5} \eta \cdot \lambda [nm] \cdot G \cdot A \end{aligned} \quad (3.19)$$

Розраховані вище параметри були отримані в радіометричних одиницях.

Для початку переведемо Вт/м² в Люкси:

$$1 Bm = 1 Lm \cdot 683 \cdot V(\lambda)$$

де $V(\lambda)$ - функція відносної спектральної світлової ефективності денного зору

$$\begin{aligned} 1 \frac{Bm}{\text{м}^2} &= 1 \frac{Lm}{\text{м}^2} \cdot 683 \cdot V(\lambda) = 1 Lk \cdot 683 \cdot V(\lambda) \\ 1 \frac{Bm \cdot c}{\text{м}^2} &= 1 Lk \cdot c \cdot 683 \cdot V(\lambda) \Rightarrow 1 \frac{Bm \cdot c}{B \cdot \text{м}^2} = 1 \frac{Lk \cdot c}{B} \cdot 683 \cdot V(\lambda) \\ 1 \frac{B \cdot \text{м}^2}{Bm \cdot c} &= \frac{1}{683 \cdot V(\lambda)} \cdot \frac{B}{Lk \cdot c} \\ 1 \frac{B}{Lk \cdot c} &= 683 \cdot V(\lambda) \cdot 1 \frac{B \cdot \text{м}^2}{Bm \cdot c} \end{aligned} \quad (3.20)$$

$$R3 \left[\frac{B}{Lk \cdot c} \right] = 683 \cdot V(\lambda) \cdot 10^{-4} \cdot 10^6 \cdot R1 \left[\frac{B}{\text{мкДж} / \text{см}^2} \right] = 683 \cdot 10^2 \cdot V(\lambda) \cdot R1 \left[\frac{B}{\text{мкДж} / \text{см}^2} \right] \quad (3.21)$$

21)

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | МРП.171.071.003 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 94 |

$$R3\left[\frac{B}{\text{Лк}\cdot\text{с}}\right]=3.438\cdot V(\lambda)\cdot\eta\cdot\lambda_{\text{нм}}\cdot G\cdot A \quad (3.22)$$

Підставимо значення чутливості $V(\lambda)$ при довжині хвилі 550 нм у формулу

$$R3\left[\frac{B}{\text{Лк}\cdot\text{с}}\right]=3.438\cdot\eta\cdot550\cdot G\cdot A \quad @550\text{нм} \Rightarrow R3\left[\frac{B}{\text{Лк}\cdot\text{с}}\right]=1891\cdot\eta\cdot G\cdot A$$

Після переведення, встановленні значення чутливості в фотометричних одиницях [В/лк*с] :

$$R3\left[\frac{B}{\text{Лк}\cdot\text{с}}\right] \eta = \frac{R3}{1891\cdot G\cdot A} \quad @550\text{нм}$$

Підставивши параметри КМОН-сенсора одержимо квантову ефективність:

$$\eta = \frac{R3}{1891\cdot G\cdot A} \quad @550\text{нм} = 0.5 \quad @550\text{нм} \text{ або ж } 50\% \text{ при довжині хвилі рівній } 550 \text{ нм.}$$

3.3 Розрахунок вихідної напруги пікселя у фотоприймачі

Для того що виконати розрахунок вихідної напруги пікселя спочатку потрібно розглянути параметр - роздільна здатність КМОП-сенсора. При однаковій чутливості різні за параметрами сенсори зображення забезпечують перетворення оптичного зображення з різною якістю в сенсі передачі тонкої структури елементів зображення. Розміри фоточутливої матриці і кінцеві розміри пікселів обумовлюють просторову фільтрацію зображення об'єкта спостереження, спроектованого через об'єктив на фоточутливу матрицю сенсора зображення.

Роздільна здатність або просторова фільтрація оптичного сигналу визначається частотно-контрастної характеристикою оптичної

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | МДПРБ.080.0.070.0037373 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 96 |

системи, яка показує залежність контрасту елементів зображення від їх просторової частоти. Оптична система сенсора зображення і його фізико-топологічні параметри задовольняють умовам лінійності і інваріантності, що дає можливість визначити його частотно-контрастну характеристику за допомогою перетворення Фур'є для відгуку пікселя на точкове джерело світла. При цьому необхідно врахувати геометричні розміри пікселя сенсора зображення і функцію розподілу інтенсивності в зображенні світної точки, що пройшло через оптичну систему на сенсор зображення.

Функція відгуку пікселя на точкове джерело світла $K(x)$ є результатом згортки функції чутливості $S(x)$ та функції розсіювання точки $P(x)$. Для врахування впливу розмірів пікселя на оптичну фільтрацію сигналу, вважаємо що по всій поверхні пікселя є однорідний нормований розподіл чутливості, який ми задаємо прямокутною функцією чутливості, з шириною рівною довжині пікселя A .

$$rect(x) = \begin{cases} 1, & |x| \leq \frac{A}{2}, \\ 0, & |x| > \frac{A}{2}. \end{cases} \quad (3.23)$$

Функція розсіювання точки (ФРТ) або ж функція розподілу інтенсивності від точкового джерела світла задається апроксимуючою функцією [1]:

$$P(x) = \left(\frac{\sin(\pi x)}{\pi x} \right)^2 \quad (3.24)$$

Використання цієї функції пояснюється тим, що це парна нормована функція у якій на центральний максимум доводиться приблизно 90 % усієї площі, що відповідає реальній ФРТ.[21]

Фізичний сенс операції згортки полягає у співставленні функції чутливості функції розсіювання точки, в залежності від ступеня

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | МРП.171.071.003 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 97 |

перекриття їх площ отримуємо імпульсний відгук різної амплітуди та форми. Так наприклад при зменшенні площі пікселя ширина функції відгуку зменшується і падає амплітуда, при цьому зростає КЧХ, оскільки збільшується частота гармонік розкладання. Це відповідає загально відомому факту, що зі збільшенням кількості пікселів зростає роздільна здатність. Після зменшення довжини пікселя більше певного рівня КЧХ перестає зростати. У дійсності це відповідає зменшенню кількості фотонів, що припадає на площу пікселя і відповідно зниженню глибини модуляції сигналу. При збільшенні розмірів пікселя ширина відгуку зростає і починає спадати КЧХ, що знову ж таки відображає оптичну фільтрацію у сенсорі зображення:

$$K(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} \text{rect}(x - y) \left(\frac{\sin(y\pi)}{y\pi} \right)^2 dy$$

Діаметр першого максимум ФРТ, що називається диском Ейрі є функцією від довжини хвилі випромінювання, фокусної відстані та апертури діафрагми камери. Маючи ці данні можна визначити розмір мінімального елемента, тобто розмір діаметру фокусної плями, у площі детектора. Але оскільки на попередньому етапі розробки немає даних про об'єктив та характер освітлення, ми задаємо радіус диску Ейрі у площі об'єкта, а не матриці сенсора. Приймаємо радіус диску Ейрі в площині об'єкта рівним 1мм та переносимо функцію чутливості пікселя у площу матриці за допомогою масштабного коефіцієнту β .

За допомогою масштабного коефіцієнту ми переводимо ФРТ з площини матриці у площину сенсора. Масштабний коефіцієнт визначається, як відношення розмірів реального об'єкта до розмірів його зображення в площині пікселя:

$$\beta = \frac{y}{y'}$$

На практиці масштабний коефіцієнт зазвичай визначають, як розмір сенсора поділений на поле зору камери:

$$\beta = \frac{\text{поле зору}}{\text{розмір сенсора}} = \beta = \frac{22\text{см}}{7,728\text{мм}} = 28,47 \quad (3.25)$$

Поле зору камери можна визначити, як суму таких факторів, як максимальний розмір деталі, максимальні коливання орієнтації та розмірів деталі, запас на випадок зміщення деталі, формат камери. У данному випадку поле зору камери визначається телевізійною дослідною таблицею ГОСТ 14872-82 розміром 190 на 254 мм.

FOV = максимальний розмір частини + допуск в позиціонуванні + коливання розміру + адаптація до формату сенсора.

Імпульсний відгук пікселя на точкове джерело світла це згортка від ФРТ та функції чутливості пікселя:

$$K(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} \text{rect}(y) \left(\frac{\sin(x-y)\pi}{(x-y)\pi} \right)^2 dy$$

Тоді ПЧХ має вигляд:

$$KЧХ(\omega) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} K(x) e^{-i\omega x} dx}{\int_{-\infty}^{\infty} K(x) dx} \quad (3.26)$$

Вихідна напруга пікселя сенсора з урахуванням просторово-частотної фільтрації в результаті дорівнює:

$$U_{\text{вих}} = U_y \cdot KЧХ(\omega) \quad , \text{ що дорівнює приблизно } 7 \text{ мкВ.}$$

3.4 Розрахунок формату об'єктива телевізійної камери

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | МРП.171.071.003 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 98 |

Для розроблюваної телевізійної камери одним з важливих параметрів є формат об'єктив який залежить від формату сенсора. Рассмотрим те параметры, которые необходимо учитывать в первую очередь при выборе объективов для телекамер. Формат объективу (Format Of The Lens, Image Size) - це, по суті, позначення того розміру матричного приймача оптичного випромінювання (МПОІ) відеокамери, з якою даний об'єктив призначений працювати. Іншими словами, формат - це приблизна довжина (виражена в дюймах) діаметра сфокусованого на поверхні МПОІ зображення.

Можна також відзначити, що формат об'єктива одночасно є діагоналлю вписаного в це коло прямокутника, що має зазвичай співвідношення сторін 3: 4 (поверхню МПОІ є такий прямокутник) [22].

Однією з вимог конструктивної сумісності об'єктива телевізійної камери є східність їх форматів.

Простим і найбільш поширеним варіантом є східний формат об'єктива до формату відеокамери. Однак при необхідності можна використовувати і деякі інші варіанти, беручи до уваги відповідні особливості [22]. На малюнку 3.1 показані приклади трьох різних сполучень розміру матриці і відповідного параметра об'єктива. У першому стандартному випадку (рис. 3.1, а) досягається повне використання поверхонь як об'єктива, так і матриці. Якщо формат матриці менше відповідного параметра об'єктива (рис. 3.1, б), то матриця використовується повністю, на відміну від об'єктива. Як результат ми отримаємо звуження кута огляду об'єктива при деякому поліпшенні якості зображення. Це відбувається тому, що в цьому випадку використовується лише центральна частина об'єктива, технологічна точність виготовлення якої зазвичай вище, ніж на краях. Використання матриці більшого формату, ніж та, на яку

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | МРП.171.071.003 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 1000 |

розрахований об'єктив (рис. 3.1, в), приведе до формування неприйнятного зображення, так як поверхня матриці буде використовуватися в повному обсязі і по краях з'явиться чорне поле.



Рис 3.1 Співвідношення форматів матриці та об'єктиву камери

Фокусна відстань об'єктива (Focal Length) є одним з найважливіших параметрів, що визначає кут огляду об'єктива (Angle Of View). Від останнього, в свою чергу, залежать не тільки розміри спостерігається зони, але і якість формованого зображення, можливість розрізняти дрібні деталі. Співвідношення між кутом огляду і фокусною відстанню залежить також від формату матриці. У таблиці 3.2 наведені дані, що дозволяють оцінити значення кута огляду в горизонтальній площині для об'єктивів з різною фокусною відстанню для матриць найбільш популярних форматів 1/4 "(3,4 x 2,4 мм), 1/3" (4,8 x 3,6 мм), 1/2 "(6,4 x 4,8 мм).[23]

| Формат матриці | Фокусное расстояние, мм | | | | | | |
|----------------|-------------------------|----|----|----|----|----|----|
| | 2,8 | 4 | 6 | 8 | 12 | 16 | 50 |
| | Угол обзора, град. | | | | | | |
| 1/4" | 64 | 48 | 33 | 25 | 17 | 13 | 4 |
| 1/3" | 78 | 59 | 42 | 32 | 22 | 16 | 5 |
| 1/2" | 94 | 74 | 54 | 42 | 28 | 21 | 6 |

Табл. 3.2 – Значення кута обзору в горизонтальній площині [23]

Для будь-якої матриці вибір об'єктива слід проводити, виходячи із заданого або заздалегідь розрахованого кута огляду камери, пов'язаного з фокусною відстанню співвідношенням :

$$f = \frac{b_{\phi}}{2 \operatorname{tg}(\beta_0/2)}, \quad (3.27)$$

где b_{ϕ} – ширина фотоприймача, β_0 – кут обзору в горизонтальній площині.

Аналогічно:

$$f = \frac{h_{\phi}}{2 \operatorname{tg}(\alpha_0/2)}, \quad (3.28)$$

где h_{ϕ} – висота фотоприймача, α_0 – кут обзору в вертикальній площині.

При попередньому виборі кутів β_0 і α_0 слід враховувати, що на краях поля зору зображення виходить менш різким і яскравим, ніж в центрі, причому це явище залежить як від фокусної відстані, так і від відносного отвору D / f' .

Для визначення кута різкого зображення β_r можна скористатися емпіричним співвідношенням [23]:

$$\operatorname{tg} \beta_r \approx \frac{0.12 - 0.15}{(D/f) \sqrt{f/100}}. \quad (3.29)$$

На підставі виразів (3.28) і (3.29) остаточно встановлюється необхідний кут огляду об'єктива і його фокусна відстань, за яким з довідкових таблиць вибирається відповідний об'єктив [23].

Залежно від значення кута огляду об'єктиви можуть поділятися на такі типи: □ стандартний або нормальний (кут огляду 30 град.); □ ширококутний (кут огляду близько 60 град.); надширококутний (кут огляду більше 80 град.); телеоб'єктиви (кути огляду одиниці градусів).[24]

Наведені вище типи є досить умовними, оскільки в загальному випадку об'єктив може мати будь-яке значення фокусної відстані і кута огляду відповідно. Однак різні фірми-виробники зазвичай

випускають об'єктиви з однаковими (наприклад, 6, 8, 12 мм) або близькими (3,6; 3,8; 4 мм) значеннями фокусної відстані.

Враховуючи все вище наведене, а також знаючи параметри КМОП-сенсора що використовується, для даної телевізійної камери можна розрахувати формат об'єктиву: Формат сенсора - 1/3", кут огляду - 42 град., фокусна відстань - 6мм

Формат об'єктиву для високочутливої телевізійної камери вибирається ширококутний (кут огляду 42град.).

Висновки до розділу 3

В данному розділі було розглянуто та розраховано важливі параметри КМОН-сенсора, що використовується в якості фотоприймача у розроблюваній високочутливій телевізійній камері, за яких функціонування данного приладу неможливо. Цими параметрами були: квантова ефективність, вихідна напруга пікселя, падіння напруги пікселя у сенсорі, а також формат об'єктиву телевізійної камери.

4. СТАРТАП-ПРОЕКТ

Таблиця 1 Опис ідеї проекту

| Зміст ідеї проекту | Напрямки застосування | Вигоди для користувача |
|---|-----------------------------|--|
| Розробка високочутливої телевізійної камери що призначена для перетворення оптичного зображення, від об'єктиву в телевізійний відеосигнал або цифрової потік відеоданих | Область промисловості | Підвищення контролю якості виготовляємої продукції, розвиток продвинутої автоматизації виробництва. |
| | Біотехнічна область | Зростання швидкості розвитку області, поліпшення якості вихідних відео- та фото- даних, зростання кпд області та взаємодії з зовнішніми чинниками. |
| | Армійська область | Розвиток воєнних систем, удосконалення систем нагляду, поліпшення швидкості розробки та використання армійських об'єктів. |
| | Область внутрішньої безпеки | Підвищення швидкості роботи органів внутрішньої безпеки, покращення даних та роботи з системами що використовуються у області |
| | Інженерна область | Підвищення швидкості розвитку інженерних проектів, збільшення фізичних систем, інтеграція їх у інші області |
| | Область ядерної енергетики | Покращення безпеки роботи області, збільшення якості відео- та фото- даних, розвиток області у напрямку реєстрації інформації. |

Таблиця 2 Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

| № П/п | Технічної характерис- тики ідеї | (потенційні) товари/концепції конкурентів | | | | W (слабк а сторон а) | N (нейтр альна сторон а) | S (сильн а сторон а) |
|----------|---------------------------------------|--|-----------------------|------------------------|------------------------|----------------------------------|--|--|
| | | Мій про-е кт | Конку рент1 | Конку рент2 | Конку рент3 | | | |
| 1 | Чутливість пристрою | 5.48 В/лю кс*се к | 4.5 В/люк с*сек | 3.78 В/люк с*сек | 5.01 В/люк с*сек | Немає | Немає | Парам етр значно вище ніж у конку рентів |
| 2 | Мале споживанн я пристрою | 4,8В | 8В | 7,5В | 7,4В | Немає | Немає | Парам етр трохи краще |
| 3 | Вартість пристрою | 400- 550\$ | 300- 400\$ | 250- 400\$ | 350- 600\$ | Ціна значно вище | Немає | Немає |
| 4 | Розмір пікселів | 3.75μ m | 3.85μ m | 3.75μ m | 3.18μ m | Немає | Парам етр на рівні з конку рента ми | Немає |
| 5 | Частота кадрів | 60ка д/сек | 45кад/ сек | 60кад/ сек | 60кад/ сек | Немає | Парам етр на рівні з конку рента ми | Немає |

Таблиця 3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

| № п/п | Ідея проекту | Технології її реалізації | Наявність технологій | Доступність технологій |
|-------|--|---|----------------------|------------------------|
| 1 | Розробка камери що має підвищений параметр-чутливість 5.48 В/люкс*сек. Для подальшого використання у системі технічного зору | Ідея реалізується шляхом впровадження технології КМОП у фотоприймачі. | Наявна | Доступна |
| | Розробка камери що має підвищений параметр-зменшене електроспоживання.,для подальшого використання у системі технічного зору | Ідея реалізується шляхом впровадження менш електрозатратних елементів у схему | Наявна | Доступна |
| | Розробка камери що має підвищений параметр-роздільна здатність,для подальшого використання у системі технічного зор | Ідея реалізується шляхом впровадження фотоприймача що має матрицю з необхідним форматом сторін. | Наявна | Доступна |

Таблиця 4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

| № п/п | Показники стану ринку (найменування) | Характеристика |
|-------|--|---|
| 1 | Кількість головних гравців, од | Більше 1000 од. |
| 2 | Загальний обсяг продаж, грн/ум.од | Більше 100000000 ум.од |
| 3 | Динаміка ринку (якісна оцінка) | Зростає |
| 4 | Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень) | Немає обмежень |
| 5 | Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації | Стандарт розробки тел.камер,отримання патенту |
| 6 | Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), % | 50% |

Таблиця 5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту.

| | | | |
|---|---|---|--|
| Потреба, що формує ринок | Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку) | Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів | Вимоги споживачів до товару |
| Потреба у технічному нагляді,фото- та відео-фіксації,також потреба використання продукту у виробничих галузях | Виробничі галузі,соціальні та наукові області діяльності. | Необхідність використання продукту для внутрішніх потреб,використання продукту для розробки та впровадження,для фіксації зовнішніх даних. | Необхідність у вищих параметрах та характеристиках ніж у конкурентів. Необхідність у КМОП-технології фотоприймачів |

Таблиця 6. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

| | | |
|---|---|--|
| Особливості конкурентного середовища | В чому проявляється дана характеристика | Вплив на діяльність підприємства. |
| Досконалий тип конкуренції | Не має можливості диктувати умови та ціни продажу товарів | Продаж товарів за цінами, що пропонує ринок |
| Міжнаціональний рівень боротьби | Конкуренція у продажу товарів здійснюється міжнаціонально | Можливість до збільшення обороту товару. |
| Внутрішньо галузева конкуренція | Конкуренція здійснюється тільки в даній галузі | Немає |
| Товарно-видова конкуренція | Різні види продукту конкурують між собою | Широкий вплив на реалізацію продажу товару. |
| Неціновий характер конкурентних переваг | Конкуренція здійснюється у підвищенні параметрів продукту | Потенційні покупці мають широку потребу у товарі |

Таблиця 7. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

| № п/п | Фактор конкурентно-спроможності | Обґрунтування |
|-------|--|--|
| 1 | Доступ до ефективної технології | Технологічна реалізація продукту(КМОП) має велику ефективність та наразі має великий попит у споживачів. |
| 2 | Застосування ресурсозберігаючих технологій | Зменшення втрат на реалізацію проекту шляхом використання технології зменшення витрат ресурсів. |
| 3 | Здатність до розширення ринків збуту продукції | Збільшення збуту продукції шляхом універсалізації технології та підстроювання продукту до інших ринків. |

Таблиця 8. SWOT- аналіз стартап-проекту

| | |
|--|---|
| <p>Сильні сторони:</p> <p>1)Високі параметри продукту</p> <p>2)Ефективна технологія реалізації</p> <p>3)Потребність споживачів у продукції</p> | <p>Слабкі сторони:</p> <p>1)Ціна продукції вище ніж у конкурентів</p> <p>2)Велика конкуренція на ринку збуту товару</p> |
| <p>Можливості:</p> <p>1)Розширення ринків збуту</p> <p>2)Прогрес технології продукту</p> | <p>Загрози:</p> <p>1)Відторження ринком збуту</p> <p>2)Можливість надання технології конкурентам</p> |

Таблиця 9. Визначення базової стратегії розвитку

| | | | |
|-----------------------------------|--|---|--|
| Обрана стратегія розвитку проекту | Стратегія охоплення ринку | Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи | Реалізація стратегії розвитку |
| Стратегія диференціації | Надання товару що має необхідні властивості для споживача, які роблять товар відмінним від товарів конкурентів | Зниження ступеня замінності товару, зменшення чутливості до ціни і тим самим підвищення рентабельності. | Реалізація цієї стратегії вимагає, як правило, більш високих витрат. |

Таблиця 10. Визначення стратегії позиціонування

| Вимоги до товару цільової аудиторії | Базова стратегія розвитку | Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап проекту | Вибір асоціацій, які мають сформувану комплексну позицію власного проекту |
|---|---------------------------|---|---|
| 1)Високі параметри товару 2)Необхідна цінова межа 3)Доступність та поширеність товару 4)Прогрес товару з плином часу | Стратегія диференціації | 1)Відмітні властивості товару 2)Необхідність споживачів у товарі 3)Підвищена рентабельність | 1)аналіз сильних і слабких сил товару 2)виявлення можливих напрямів розвитку |

Таблиця 11. Визначення ключових переваг товару

| Потреба | Вигода, яку пропонує товар | Ключові переваги перед конкурентами |
|---|--|---|
| Споживач потребує телевізійну камеру що має чітку фіксацію зображення, високу частоту кадрів та необхідний формат матриці фотоприймача. | 1)Високі вихідні параметри камери 2)Ефективна технологія КМОП фотоприймача 3)Низьке електроспоживання камери | 1)Значно більша чутливість сенсора 2)Мале електроспоживання 3)Висока роздільна здатність 4)Необхідний розмір пікселів 5)Стандартна частота кадрів |

Таблиця 12. Визначення меж встановлення ціни

| Рівень цін на товари замітники | Рівень цін на товари аналоги | Рівень доходів цільової групи споживачів | Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу |
|---------------------------------|---------------------------------|---|--|
| Ціна в межах від 800\$ до 900\$ | Ціна в межах від 250\$ до 600\$ | Доходи споживачів різняться в залежності від галузі. Середній дохід =700\$ | Враховуючи ціни на елементну базу що необхідна для створення пристрою, а також затрати на реалізацію та розробку пристрою то нижня межа встановлюється : 400\$, а верхня-550\$ |

Таблиця 13. Концепція маркетингових комунікацій

| Специфіка поведінки цільових клієнтів | Канали комунікацій якими користуються цільові клієнти | Ключові позиції, обрані для позиціонування | Завдання рекламного повідомлення | Концепція рекламного звернення |
|--|---|--|---------------------------------------|---|
| Пошук товару, порівняння цін та хар-к товару з аналогами, закупка товару | Глобальна мережа Інтернет, внутрішні канали галузі, виставки та конференції | Надання інформації про товар, залучення клієнтської бази | Залучити споживачів до закупки товару | Повідомлення про товар, його характеристики, ціну та переваги |

Таблиця 14. Формування системи збуту

| Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів | Функції збуту, які має виконувати постачальник товару | Глибина каналу збуту | Оптимальна система збуту |
|--|---|--|--|
| Пошук необхідного товару, ознайомлення з характеристиками та параметрами, порівняння ціни з аналогами та остаточний вибір товару що закупляється | 1) встановлення контактів із споживачами і підтримання їх; 2) формування попиту і стимулювання збуту; 3) організація руху товару; 4) зменшити витрати в ході збуту продукції | присутні кілька дистриб'ютори: 1) ексклюзивний, 2) регіональний 3) національний | Система національних, дистриб'юторів, які здійснюють розподіл товарів споживачам певних галузей, секторів економіки, держкомпаній і підприємств - природних монополій. |

Висновок до стартап проекту

У данному розділі був розроблений стартап проект відповідно до теми магістерського проекту .

Роблячи загальні висновки можна сказати, що у данного пристрою є можливість до ринкової комерціалізації, наразі у різних сферах діяльності та промисловості наявен попит до КМОП-фотоприймачів та телевізійних камер на їх базі, динаміка впровадження та реалізації таких пристроїв зростає з кожним роком.

Завдяки високим вихідним параметрам та потужним характеристиками ,що реалізуються завдяки КМОП-технології фотоприймачів, для проекту є перспектива входження на ринок та конкуренції з вже наявними аналогами телевізійних камер.

ВИСНОВКИ

Високочутлива телевізійна камера для систем технічного зору - пристрій призначений для перетворення оптичного зображення, одержуваного за допомогою об'єктива, в телевізійний відеосигнал або цифровий потік відеоданих. Існує декілька типів телевізійних камер, основними з яких є :

- 1) Телевізійна камера на базі ПЗЗ
- 2) Телевізійна камера з КМОП-фотоприймачем

В якості розроблюваного приладу вибирається телевізійна камера що має основний елемент - КМОП-фотоприймач. Така камера відрізняється від аналогів тим що такі пристрої мають можливість інтеграції в одному кристалі масиву фотоприймачів та периферійних блоків, що забезпечують більш швидку та потужну роботу. У результаті, камера на основі КМОП-фотоприймача може бути однокристальною. Також КМОП-фотоприймачі значно менш вимогливі до електроживлення..

В опису розробки пристрою була створена функціональна схема пристрою, також було розглянуто та вибрано елементи пристрою що потрібні для надійної роботи схеми. Було вибрано найбільш функціонально зручний мікроконтролер що забезпечує потрібну функціональність системи, а також необхідний високочутливий КМОП-фотоприймач.

В розрахунковій частині було розглянуто та розраховано важливі параметри КМОП-фотоприймача, за яких функціонування неможливо. Цими параметрами була квантова ефективність, вихідна напруга пікселя та падіння напруги на пікселі. Також було розраховано формат об'єктива телевізійної камери.

У заключній частині був розроблений стартап проект.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | МРП.171.071.003 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 112 |

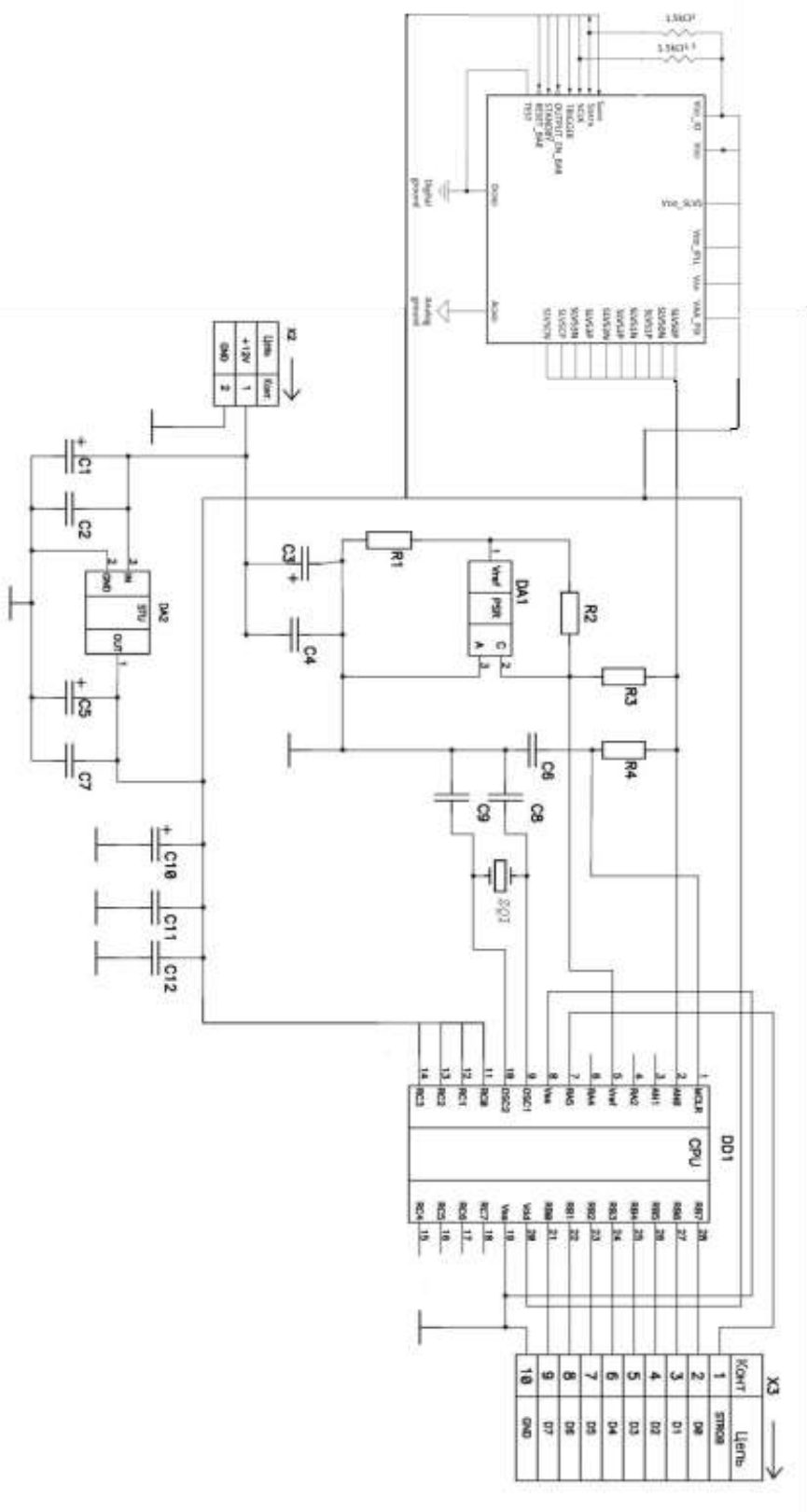
Перелік посилань

1. Іванов В.Г. Твердотельная революція в телебаченні. До історії початкового етапу: Питання радіоелектроніки. Серія Техніка телебачення, випуск 1, 2007. - С. 130-139.
2. Секен К., Томпсетт М. Прилади з переносом заряду. - М.: Мир, 1978.
3. Манцветов А.А., Цицулін А.К. Телекамери на КМОН-фотоприймачах: Питання радіоелектроніки. Серія «Техніка телебачення», випуск 2, 2006. - С. 70 — 89.
4. Термінологічний словник по електронній техніці / В.Н. Вениаминов, Г.Н. Грязін і ін.; Під ред. Г.Н. Грязіна і І.П. Жеребцова. - СПб.: Політехніка, 2001. - 783 с.
5. Телебачення: Підручник для вузів / В.Є. Джаконія, А.А. Гоголь, Я.В. Друзін і ін.; Під ред. В.Є. Джаконія. - М.: Гаряча лінія Телеком, 2002. □ 640 с.
6. BT.656 Video Interface for ICs [Електронний ресурс]: Application Note. July 2002 AN9728.2. - Режим доступу: <http://www.intersil.com/content/dam/Intersil/documents/an97/an9728.pdf>.
7. Прес Ф.П. Фоточутливі прилади із зарядним зв'язком. - М.: Радіо і зв'язок, 1991. - 264 с.
8. Твердотельная революція в телебаченні: Телевізійні параметри на основі приладів із зарядним зв'язком, систем на кристалі і відеосистем на кристалі / В.В.Березін, А.А.Умбіталієв, Ш.С.Фахмі, А.К.Цицулін, М.М. Шипілов; Під ред. А.А.Умбіталієва і А.К.Цицуліна. - М.: Радіо і зв'язок, 2006.
9. Твердотельное телебачення: Телевізійні системи зі змінними параметрами на ПЗЗ і мікропроцесорах / Л.І. Хромов, Н.В. Лебедєв, А.К. Цицулін, А.Н. Куликов; Під ред. І.А. Росселевіча. -М.: Радіо і зв'язок, 1986. - 184 с.
10. Міленін Н.К. Шуми в формувач сигналів зображення на ПЗЗ. - Техніка кіно і телебачення, 1980, №6. - С. 51-57.
11. Шайкевич Д.В. Розрахунок відносини сигнал / шум в телевізійних камерах на ПЗЗ при заданих характеристиках джерела випромінювання. - Техніка засобів зв'язку, сер. Техніка телебачення, 1984, вип. 4. - С. 88-94.
12. Грязін Г.Н. Основи і системи прикладного телебачення / Г.Н. Грязін; під ред. Н.К. Мальцевої. - СПб.: Політехніка, 2011. - 273 с.
13. Однолько В.В., Ожигін А.Ф., Харитонов Г.А. Портативні камери кольорового телебачення. - М: Радіо і зв'язок, 1984. - 104 с.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | МРП.171.071.003 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 113 |

14. Носов Ю.Р., Шилін В.А. Основи фізики приладів із зарядним зв'язком. - М.: Наука. Гл. ред. фіз.-мат. лит., 1986. - (Фізика напівпровідників і напівпровідникових приладів). - 320 с.
15. Аксененко М.Д., бараночніка М.Л. Приймачі оптичного випромінювання. Довідник. - М.: Радіо і зв'язок, 1987.
16. Горбачёв А.А., Коротаев В.В., Ярышев С.Н. Твердотельные матричные фотопреобразователи и камеры на их основе. – СПб.: НИУ ИТМО, 2013. – 98 с
17. MT9M034: 1/3-Inch CMOS Digital Image Sensor Features [Електронний ресурс]: Datasheet
18. 28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/30292D.pdf>
19. <http://www.transistor.by/i/pdf/kr142en5a>
20. ADJUSTABLE PRECISION SHUNT REGULATOR
<https://www.datasheetpdf.com/pdf/1037350/Diodes/TL431/1>
21. Алексеев С.А., Волхонский В.В., Суханов А.В. Телевизионные системы наблюдения. Основы проектирования. – СПб.: Университет ИТМО, 2015. – 126 с. Рис. 53. Библ. 40.
22. Бабенко В.С. Оптика телевізійних пристроїв. - М.: Радіо і зв'язок, 1982. - 257 с.
23. Уваров Н.Є. Практичні поради по фокусуванні телевізійних камер // Резонанс. - 2003. - № 1.
24. Волхонський В.В. Телевізійні системи спостереження: Учеб. допомога. 2-е изд., Доп. і перераб. СПб.: Екополіс і культура, 2005. - 167 с.
25. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс]: Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ: НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с

Додаток А



МРП.171.071.003 Е

| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | |
|-----------|---------------|----------|--------|------|---|--|--|
| Розроб. | Ганін В.О | | | | <div> <div> <div> <div> <div>Літ.</div> <div>Арк.</div> <div>Аркуші</div> </div> <div> <div>115</div> <div>116</div> </div> </div> <div> <div>КПІ ім.Сікорського</div> </div> </div> </div> | | |
| Перевір. | Михайлов С.Р. | | | | | | |
| Реценз. | | | | | | | |
| Н. Контр. | Чадюк В.О. | | | | | | |
| Затверд. | Писаренко Л.Д | | | | | | |

Специфікація
"Високочутлива телевізійна
камера для систем технічного
зору"

Перелік скорочень, умовних позначень, термінів

ФП - Фотоприймач

ПЗЗ - Пристрої зарядового зв'язку

КМОП - компліментарна структура метал-оксид-напівпровідник

TVS - Телевізійна система

АЦП - Аналого-цифровий перетворювач

PAL (Phase Alternating Line) - построккова зміна фази

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | МРП.171.071.003 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 9 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

[illegible]